

SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO HÀ NỘI

GIÁO TRÌNH

Thủy lực

DÙNG TRONG CÁC TRƯỜNG TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP





NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI

SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO HÀ NỘI

PGS. TS. HOÀNG ĐỨC LIÊN *(Chủ biên)*

GIÁO TRÌNH
THỦY LỰC

(Dùng trong các trường THCN)

NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI - 2007

Lời giới thiệu

Nước ta đang bước vào thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa nhằm đưa Việt Nam trở thành nước công nghiệp văn minh, hiện đại.

Trong sự nghiệp cách mạng to lớn đó, công tác đào tạo nhân lực luôn giữ vai trò quan trọng. Báo cáo Chính trị của Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Việt Nam tại Đại hội Đảng toàn quốc lần thứ IX đã chỉ rõ: "Phát triển giáo dục và đào tạo là một trong những động lực quan trọng thúc đẩy sự nghiệp *công nghiệp hóa, hiện đại hóa*, là điều kiện để phát triển nguồn lực con người - yếu tố cơ bản để phát triển xã hội, tăng trưởng kinh tế nhanh và bền vững".

Quán triệt chủ trương, Nghị quyết của Đảng và Nhà nước và nhận thức đúng đắn về tầm quan trọng của chương trình, giáo trình đối với việc nâng cao chất lượng đào tạo, theo đề nghị của Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội, ngày 23/9/2003, Ủy ban nhân dân thành phố Hà Nội đã ra Quyết định số 5620/QĐ-UB cho phép Sở Giáo dục và Đào tạo thực hiện đề án biên soạn chương trình, giáo trình trong các trường Trung học chuyên nghiệp (THCN) Hà Nội. Quyết định này thể hiện sự quan tâm sâu sắc của Thành ủy, UBND thành phố trong việc nâng cao chất lượng đào tạo và phát triển nguồn nhân lực Thủ đô.

Trên cơ sở chương trình khung của Bộ Giáo dục và Đào tạo ban hành và những kinh nghiệm rút ra từ thực tế đào tạo, Sở Giáo dục và Đào tạo đã chỉ đạo các trường THCN tổ chức biên soạn chương trình, giáo trình một cách khoa học, hệ

thống và cập nhật những kiến thức thực tiễn phù hợp với đối tượng học sinh THCN Hà Nội.

Bộ giáo trình này là tài liệu giảng dạy và học tập trong các trường THCN ở Hà Nội, đồng thời là tài liệu tham khảo hữu ích cho các trường có đào tạo các ngành kỹ thuật - nghiệp vụ và đông đảo bạn đọc quan tâm đến vấn đề hướng nghiệp, dạy nghề.

Việc tổ chức biên soạn bộ chương trình, giáo trình này là một trong nhiều hoạt động thiết thực của ngành giáo dục và đào tạo Thủ đô để kỷ niệm "50 năm giải phóng Thủ đô", "50 năm thành lập ngành" và hướng tới kỷ niệm "1000 năm Thăng Long - Hà Nội".

Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội chân thành cảm ơn Thành ủy, UBND, các sở, ban, ngành của Thành phố, Vụ Giáo dục chuyên nghiệp Bộ Giáo dục và Đào tạo, các nhà khoa học, các chuyên gia đầu ngành, các giảng viên, các nhà quản lý, các nhà doanh nghiệp đã tạo điều kiện giúp đỡ, đóng góp ý kiến, tham gia Hội đồng phản biện, Hội đồng thẩm định và Hội đồng nghiệm thu các chương trình, giáo trình.

Đây là lần đầu tiên Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội tổ chức biên soạn chương trình, giáo trình. Dù đã hết sức cố gắng nhưng chắc chắn không tránh khỏi thiếu sót, bất cập. Chúng tôi mong nhận được những ý kiến đóng góp của bạn đọc để từng bước hoàn thiện bộ giáo trình trong các lần tái bản sau.

GIÁM ĐỐC SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

Lời nói đầu

*Nhằm đáp ứng yêu cầu giảng dạy cũng như học tập của giáo viên và học sinh các trường trung học nông nghiệp trong tình hình mới, góp phần nâng cao chất lượng đào tạo toàn diện, chúng tôi biên soạn cuốn giáo trình "**Thủy lực**" với khối lượng năm đơn vị học trình (75 tiết học), trên cơ sở chương trình môn học được khối các trường trung học chuyên nghiệp thông qua.*

Giáo trình được trình bày ngắn gọn, dễ hiểu, trên quan điểm hiện đại về thủy lực, phù hợp với những nội dung cơ bản trong chương trình đào tạo trung học chuyên nghiệp; có bài giải mẫu để tham khảo, bài tập ứng dụng để phát triển thêm tư duy nghiên cứu môn học của học sinh.

Ngoài ra, cuốn sách này có thể dùng làm tài liệu học tập, tham khảo cho học sinh các trường cao đẳng, trung học thuộc các ngành nông, lâm, ngư nghiệp của cả nước.

Tuy nhiên, do trình độ có hạn nên không tránh khỏi thiếu sót, rất mong được các độc giả phê bình góp ý.

Hà Nội, tháng 11 năm 2005

TÁC GIẢ

Bài mở đầu

I. NHIỆM VỤ VÀ LỊCH SỬ MÔN HỌC

1. Nhiệm vụ

Đối tượng nghiên cứu của môn thủy lực học là chất lỏng. Chất lỏng ở đây hiểu theo nghĩa rộng, bao gồm chất lỏng ở thể nước - chất lỏng không nén được (khối lượng riêng $\rho = const$) và chất lỏng ở thể khí - chất lỏng nén được (khối lượng riêng $\rho \neq const$).

Trong phạm vi giáo trình này chủ yếu nghiên cứu chất lỏng ở thể nước, nhưng mở rộng các kết quả nghiên cứu chất lỏng ở thể nước cho chất lỏng ở thể khí không có gì khó khăn.

Thủy lực học còn được gọi Cơ học chất lỏng ứng dụng. Nó là một môn khoa học cơ sở nghiên cứu các quy luật cân bằng và chuyển động của chất lỏng, đồng thời vận dụng những quy luật ấy để giải quyết các vấn đề kỹ thuật trong thực tiễn sản xuất và đời sống. Chính vì thế mà nó có vị trí là nhịp cầu nối giữa những môn khoa học cơ bản với những môn kỹ thuật chuyên ngành.

Phạm vi ứng dụng của thủy lực học khá rộng rãi: có thể nói không một ngành nào trong các lĩnh vực khoa học, kỹ thuật công nghệ và đời sống có liên quan đến chất lỏng và chất khí như giao thông vận tải, hàng không, cơ khí, công nghệ hoá chất, xây dựng, nông nghiệp, thuỷ lợi... mà lại không ứng dụng ít nhiều những định luật cơ bản của thủy lực học.

2. Sơ lược lịch sử phát triển môn học

Ngay từ thời xa xưa, tổ tiên loài người đã biết lợi dụng sức nước phục vụ cho sinh hoạt đời sống, làm nông nghiệp, thuỷ lợi, kênh đập, thuyền bè...

Nhà bác học Acsimet (287-212, trước công nguyên) đã phát minh ra lực đẩy Acsimet tác dụng lên vật nhúng chìm trong lòng chất lỏng.

Nhà danh hoạ Ý - Lêôna Đơ Vanhxi (1452-1519) đưa ra khái niệm về lực cản của chất lỏng lên vật chuyển động trong nó. Ông muốn biết tại sao chim lại

bay được. Nhưng phải hơn 400 năm sau, Jucopxki và Kutta mới giải thích được: đó là lực nâng.

Năm 1687 - nhà bác học thiên tài người Anh I. Newton đã đưa ra giả thuyết về lực ma sát trong giữa các lớp chất lỏng chuyển động nhưng phải mãi hơn một thế kỷ sau, nhà bác học Nga - Petrop mới chứng minh giả thuyết đó bằng biểu thức toán học, làm cơ sở cho việc nghiên cứu chất lỏng lực (chất lỏng nhớt) sau này.

Hai ông L.Ơle (1707-1783) và D. Becnuli (1700-1782) là những người đã đặt cơ sở lý thuyết cho thuỷ khí động lực, tách nó khỏi cơ học lý thuyết để thành lập một ngành riêng.

Tên tuổi của Navie và Stôc gắn liền với nghiên cứu chất lỏng thực. Hai ông đã tìm ra phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng (1821-1845).

Nhà bác học Đức - L. Prandtl đã sáng lập ra lý thuyết lớp biên (1904), góp phần giải quyết nhiều bài toán động lực học.

Ngày nay, ngành thuỷ khí động lực học đang phát triển với tốc độ vũ bão, thu hút sự tập trung nghiên cứu của nhiều nhà khoa học nổi tiếng trên thế giới và trong nước; nó can thiệp hầu hết tới tất cả các lĩnh vực đời sống, kinh tế, quốc phòng... nhằm đáp ứng mọi nhu cầu cấp bách của nền khoa học công nghệ hiện đại của thế kỷ XXI.

II. KHÁI QUÁT CHƯƠNG TRÌNH NỘI DUNG MÔN HỌC

1. Nội dung môn học

Thủy lực học được chia thành ba nội dung lớn:

+ Thuỷ tĩnh học: Nghiên cứu các tính chất vật lý cơ bản của chất lỏng và những quy luật cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh và ứng dụng những quy luật ấy để giải quyết các vấn đề trong thực tiễn kỹ thuật, sản xuất và đời sống.

+ Thuỷ động lực học: Nghiên cứu các quy luật đặc trưng chuyển động của chất lỏng, trạng thái chảy cơ bản và tổn thất năng lượng trong dòng chảy.

+ Tính toán thủy lực đường ống và công trình: Nghiên cứu về các vấn đề như tính toán thủy lực đường ống có áp; chuyển động của chất lỏng qua lỗ và vòi; dòng chảy trong kênh hở; đập tràn và dòng chảy qua cửa cống.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trong thủy lực học thường dùng 3 phương pháp nghiên cứu phổ biến sau đây:

- Phương pháp lý thuyết: Sử dụng công cụ toán học, chủ yếu là toán giải tích, phương trình vi phân với các toán tử vi phân quen thuộc như: gradient, divergnt, rotor, toán tử Laplas, Đạo hàm toàn phần... Sử dụng các định lý tổng quát của cơ học như định lý bảo toàn khối lượng, năng lượng, định lý biến thiên động lượng, mô men động lượng...

- Phương pháp thực nghiệm: Dùng trong một số trường hợp mà không thể giải bằng lý thuyết (như xác định hệ số cản cục bộ, hệ số λ...)

- Phương pháp bán thực nghiệm: Kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm.

Phần một

THUỶ TĨNH HỌC

Chương 1

TÍNH CHẤT VẬT LÝ CƠ BẢN CỦA CHẤT LỎNG VÀ KHÁI NIỆM VỀ CHẤT LỎNG LÝ TƯỞNG

Trong chương này giới thiệu một số tính chất dễ nhận biết, các tính chất vật lý cơ bản của chất lỏng như: khối lượng riêng, trọng lượng riêng, tính nén ép, tính giãn nở vì nhiệt, tính nhớt và tính căng mặt ngoài của chất lỏng. Đồng thời đưa ra khái niệm về chất lỏng lý tưởng để làm cơ sở cho việc nghiên cứu các chương tiếp theo.

I. TÍNH CHẤT VẬT LÝ CƠ BẢN CỦA CHẤT LỎNG

1. Một số tính chất dễ nhận biết

- Tính liên tục: vật chất được phân bố liên tục trong không gian.

- Tính dễ di động: do lực liên kết giữa các phần tử chất lỏng rất yếu, ứng suất tiếp (nội ma sát) trong chất lỏng chỉ khác 0 khi có chuyển động tương đối giữa các lớp chất lỏng.

- Tính chống kéo và cắt rất kém do lực liên kết và lực ma sát giữa các phần tử chất lỏng rất yếu.

- Tính dính ướt theo thành bình chứa chất lỏng.

2. Khối lượng riêng và trọng lượng riêng

- *Khối lượng riêng*: là khối lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là ρ:

$$\rho = \frac{M}{W} \quad (kg/m^3) \qquad (1\text{-}1)$$

trong đó: M - khối lượng chất lỏng (kg)

W - thể tích chất lỏng có khối lượng M (m^3)

- *Trọng lượng riêng*: là trọng lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là: γ

$$\gamma = \frac{G}{W} \ (N/m^3;\ KG/m^3) \qquad (1\text{-}2)$$

Quan hệ giữa ρ và γ: $\gamma = \rho g$; $g = 9,81$ m/ s^2

Bảng 1 - 1: Trọng lượng riêng của một số chất lỏng

Tên chất lỏng	Trọng lượng riêng, N/m^3	Nhiệt độ
Nước cất	9810	4
Nước biển	10000 - 10100	4
Dầu hoả	7750 - 8040	15
Xăng máy bay	6380	15
Xăng thường	6870 - 7360	15
Dầu nhờn	8730 - 9030	15
Diezel	8730 - 9220	15
Thuỷ ngân	132890	20
Cồn nguyên chất	7750 - 7850	15

Lưu ý: Khối lượng của chất lỏng là một đại lượng không thay đổi còn trọng lượng của chúng thì phụ thuộc vào vị trí của nó.

3. Tính nén ép và tính giãn nở vì nhiệt

- *Tính nén ép*: Biểu thị bằng hệ số nén ép (β_p). Hệ số nén ép là số giảm thể tích tương đối của chất lỏng khi áp suất tăng lên một đơn vị:

$$\beta_p = -\frac{1}{W}\frac{dW}{dp}\,(m^2/N) \qquad (1\text{-}3)$$

trong đó: W - Thể tích ban đầu của chất lỏng (m^3)

dW - Số giảm thể tích khi áp suất tăng lên (m^3)

dp - Lượng áp suất tăng lên (N/m^2)

Ví dụ hệ số β_p của nước ở nhiệt độ 0^0C đến 20^0C có trị số trung bình là $\frac{1}{210000000}$ m^2/N; ở nhiệt độ 100^0C, áp suất 500 at là $\frac{1}{250000000}$ m^2/N.

- *Tính giãn nở vì nhiệt*: Biểu thị bằng số giãn nở vì nhiệt (β_t) là số thể tích tương đối của chất lỏng tăng lên khi nhiệt độ tăng lên 1 độ:

$$\beta_t = \frac{1}{W}\frac{dW}{dt}\,(1/\text{độ}) \qquad (1\text{-}4)$$

Ví dụ: Trong những điều kiện thông thường: Dầu hoả có β_t = 0,000 600 - 0,00800; thuỷ ngân có β_t = 0,00018.

Lưu ý: Hệ số giãn nở vì nhiệt lớn hơn nhiều so với hệ số nén ép, song chúng đều là những trị số rất nhỏ mà trong một số tính toán thông thường có thể bỏ qua.

4. Tính nhớt

Trong quá trình chuyển động các lớp chất lỏng trượt lên nhau phát sinh ra lực ma sát trong gây ra tổn thất năng lượng và chất lỏng như thế gọi là chất lỏng có tính nhớt.

Năm 1687 I. Newton dựa trên thí nghiệm: có hai tấm phẳng I - chuyển động với vận tốc V có diện tích S và II - đứng yên (hình 1-1.). Giữa hai tấm có một lớp chất lỏng h. Ông đã đưa ra giả thiết về lực ma sát trong giữa những lớp chất lỏng lân cận chuyển động là tỷ lệ thuận với tốc độ và diện tích bề mặt tiếp xúc, phụ thuộc vào loại chất lỏng và không phụ thuộc vào áp suất.

Sau đó Pêtrốp (1836-1920) đã biểu thị giả thuyết đó trong trường hợp chuyển động thẳng bằng biểu thức toán học:

$$T = \mu S\frac{dv}{dy}\,(N) \qquad (1\text{-}5)$$

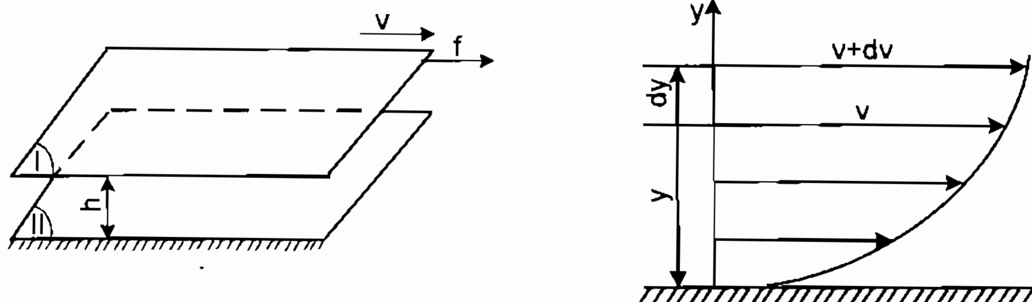
trong đó:

T - lực ma sát trong

μ - hệ số nhớt động lực, đặc trưng tính nhớt của chất lỏng;

S - diện tích tiếp xúc giữa hai lớp chất lỏng;

$\frac{dv}{dy}$ - gradien vận tốc theo phương y vuông góc với dòng chảy;



Hình1-1. Minh hoạ tính nhớt của chất lỏng

Lực ma sát trong sinh ra ứng suất tiếp τ:

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{dv}{dy} \text{ (N/m}^2\text{)} \qquad (1\text{-}6)$$

Từ (1 - 6) rút ra công thức xác định hệ số nhớt động lực μ:

$$\mu = \frac{T}{S\frac{dv}{dy}} \text{ (NS/m}^2\text{)} \qquad (1\text{-}7)$$

Ngoài μ , còn dùng hệ số nhớt động (υ) trong các biểu thức có liên quan đến chuyển động:

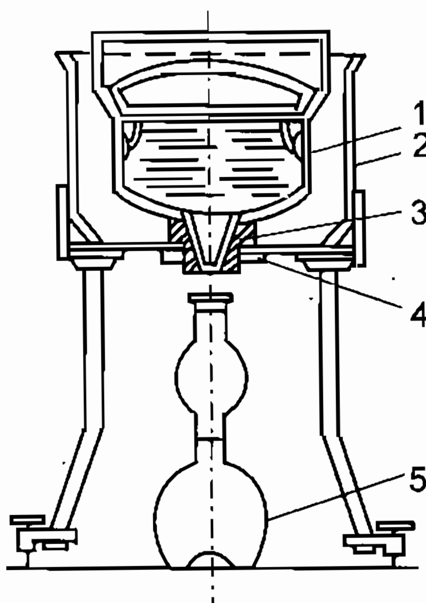
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ m}^2\text{/S hoặc (stoc: 1st} = 10^{-4} \text{ m}^2\text{/s)}$$

Các hệ số μ và υ thay đổi theo nhiệt độ và áp suất. Nhìn chung μ và υ của chất lỏng giảm khi nhiệt độ tăng và tăng khi áp suất tăng;

Ví dụ: Hệ số nhớt động lực của nước ở nhiệt độ 0^0C, $\mu = 0{,}0179$ còn ở 100^0C, $\mu = 0{,}0028$; dầu nhờn ở nhiệt độ 0^0C, $\mu = 6{,}40$; ở 60^0C, $\mu = 0{,}22$ và hệ số nhớt động của dầu nhờn sẽ tăng gấp đôi khi áp suất tăng từ 1 đến 300 at.

Để đo độ nhớt của chất lỏng, người ta dùng các loại dụng cụ khác nhau. Dưới đây giới thiệu một loại dụng cụ đo độ nhớt Engơle thường dùng ở Việt Nam (hình 1 - 2) để đo độ nhớt lớn hơn độ nhớt của nước.

Máy gồm có bình hình trụ kim loại 1, cố đáy hình cầu hàn vào nó một ống hình trụ bằng đồng thau 3. Ống hình trụ đặt trong bình chứa nước 2. Trong lỗ của ống hình trụ 3, đặt một ống bạch kim hình nón 4 để xả chất lỏng ra khỏi bình lỗ 1. Lỗ của ống 4 được đóng bằng một thanh đặc biệt có đường kính 3mm. Muốn xác định độ nhớt của một chất lỏng ở nhiệt độ nào đó, ta rót 200 cm^3 chất lỏng cần đo vào bình 1 và giữ đúng nhiệt độ cần thiết.



Hình 1-2. Máy đo độ nhớt Engơle

Đo thời gian chảy t_2 của 200cm^3 chất lỏng đo qua lỗ đáy. Sau đó đo thời gian chảy t_2 của 200 cm^3 nước cất ở nhiệt độ 20^0C (khoảng 50 giây).

Tỷ số t_1/t_2 gọi là độ nhớt Engơle (Ký hiệu ^{0} E)

$$^0E = \frac{t_1}{t_2} \qquad (1 - 8)$$

Ngoài các đơn vị Stôc và độ nhớt Engơle, thường gặp các đơn vị đo độ nhớt khác nhau, quan hệ giữa chúng với đơn vị Stôc được trình bày trên bảng 1 - 2

Bảng 1 - 2

Tên đơn vị	Ký hiệu	Trị số tính bằng Stôc
Độ Engơle	^0E	$0,0731^0E - \dfrac{0,0631}{^0E}$
Giây Rebon	$''S$	$0,00220''S - \dfrac{1,80}{''S}$
Giây Redút	$''R$	$0,00260''R - \dfrac{1,72}{''R}$
Độ Bache	^0B	$\dfrac{48,5}{^0B}$

5. Tính căng mặt ngoài của chất lỏng

Trong nội bộ chất lỏng, các phân tử được bao bọc bởi cùng một loại phân tử nằm, còn gần mặt thoáng chỉ còn một phía, vì vậy năng lượng của các phần tử trên mặt thoáng khác với năng lượng của các phần tử nằm trong nội bộ chất lỏng một đại lượng nào đó. Năng lượng đó được gọi là năng lượng bề mặt, nó tỷ lệ với diện tích bề mặt phân cách S:

$$E_{bm} = \sigma.S$$

Ở đây: σ là hệ số sức căng mặt ngoài, phụ thuộc vào bản chất thiên nhiên của hai môi trường tiếp xúc, được xác định:

$$\sigma = -R/l \text{ (N/m)}$$

Trong đó:

R - sức căng mặt ngoài;

l - chiều dài của hai mặt tiếp xúc.

Ví dụ: Với mặt phân cách giữa nước và không khí khi nhiệt độ t = 20^0C: σ = 0,073 N/m; đối mặt phân cách giữa thuỷ ngân và không khí: σ = 0,48 N/m.

II. KHÁI NIỆM VỀ CHẤT LỎNG LÝ TƯỞNG

Trong thực tế, chất lỏng có đầy đủ tính chất cơ lý như đã trình bày ở trên gọi là chất lỏng thực. Nhưng để thuận tiện cho công việc nghiên cứu, người ta đưa ra khái niệm chất lỏng lý tưởng (hay còn gọi là chất lỏng không nhớt).

Chất lỏng lý tưởng là chất lỏng có tính di động tuyệt đối; hoàn toàn không chống được lực cắt và lực kéo; hoàn toàn không nén ép không giãn nở và không có tính nhớt.

Chất lỏng ở trạng thái tĩnh trong những điều kiện thay đổi áp suất và nhiệt độ bình thường, thì thể tích và khối lượng xem như không đổi vì không có chuyển động nên không có lực ma sát trong (không có tính nhớt). Như vậy, chất lỏng thực ở trạng thái tĩnh rất gần với chất lỏng lý tưởng do đó có thể nghiên cứu các quy luật của chất lỏng thực ở trạng thái tĩnh trên chất lỏng lý tưởng thì kết quả thu được hoàn toàn phù hợp với thực tế.

Trong trường hợp chất lỏng thực ở trạng thái chuyển động, vì có tính nhớt nên có lực ma sát trong, có tiêu hao năng lượng do đó nếu dùng khái niệm chất lỏng lý tưởng để nghiên cứu thì kết quả sẽ không đúng với thực tế. Người ta phải dùng thực nghiệm, tiến hành các thí nghiệm chất lỏng thực. So sánh kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm để rút ra các hệ số hiệu chỉnh đưa vào các công thức lý thuyết cho phù hợp với thực tế.

III. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 1-1:

Để làm thí nghiệm thủy lực, người ta đổ đầy nước vào một đường ống có đường kính d = 300mm, chiều dài l = 50m ở áp suất khí quyển.

Hỏi lượng nước cần thiết phải đổ vào ống là bao nhiêu để áp suất đạt tới 50at?

Hệ số nén ép $\beta_p = \dfrac{1}{20000} \cdot \dfrac{1}{at}$ Bỏ qua biến dạng của ống.

Giải:

Dung tích của đường ống:

$$W = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3,14.0,3^2}{4}.50 = 3,53m^2$$

Từ công thức (1- 3), trong điều kiện cụ thể của bài toán, hệ số nén ép β_p được tính như sau:

$$\beta_p = \frac{1}{(W + \Delta W)} \frac{\Delta W}{\Delta p}$$

Trong đó:

ΔW- lượng nước đổ thêm vào;

Δp - độ tăng áp suất.

$$\Delta W = \frac{\beta_p W.\Delta p}{1-\beta_p \Delta p} = \frac{1}{20000}.\frac{3,53.50}{\left(1-\dfrac{50}{20000}\right)} = 0,00885\,m^3$$

Hay: $\Delta = 8,85\ lit$

Ví dụ 1-2:

Xác định độ nhớt của dầu Diezel nếu biết khối lượng riêng của nó $\rho = 900\ kg/m^3$ và độ nhớt Engơle $^0E = 8^0$.

Giải:

Độ nhớt động được tính theo công thức:

$$\nu = (0,0731^0\,\mathrm{E} - \frac{0,0631}{^0E})\ \mathrm{cm^2/s}$$

Với $^0E = 8^0$ ta có: $\nu = 0,577.\ 10^{-4}\ m^2/s = 0,577\ stoc$

Độ nhớt động lực:

$\mu = \nu\rho = 900.\ 0,577.\ 10^{-4} = 0,00529\ kGs/m^2$

Bài tập 1-1

Khi làmthí nghiệm thủy lực, dùng một đường ống có đường kính $d = 400mm$, dài $l = 200m$, đựng đầy nước ở áp suất 55at. Sau 1 giờ áp suất giảm xuống 50at.

Đáp số: $V = 6,28\ lit$

Bài tập 1-2

Một bể chứa hình trụ đựng đầy dầu hoả ở nhiệt độ 5^0C, mực dầu cao *4m*. Xác định mực dầu tăng lên, khi nhiệt độ tăng lên 25^0C. Bỏ qua biến dạng của bể chứa.

Hệ số giãn nở vì nhiệt $\beta_t = 0,00072\frac{1}{do}$

Đáp số: $h = 5,76cm$

Bài tập 1-3

Dùng máy đo độ nhớt Engơle xác định độ nhớt của dầu Diezel là $^0E = 5^0$. Tính hệ số nhớt động lực của dầu Diezel.

Trọng lượng riêng của dầu Diezel $\gamma = 9500N/m^3$.

Đáp số: $\mu = 0,0342Ns/m^2$

Chương 2

THUỶ TĨNH HỌC

Thuỷ tĩnh học nghiên cứu những quy luật cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh và ứng dụng những quy luật ấy để giải quyết các vấn đề trong thực tiễn kỹ thuật, sản xuất và đời sống.

Người ta phân ra 2 trạng thái tĩnh:

- Tĩnh tuyệt đối: Chất lỏng không chuyển động so với hệ toạ độ cố định (gắn liền với trái đất).

- Tĩnh tương đối: Chất lỏng chuyển động so với hệ toạ độ cố định, nhưng giữa chúng không có chuyển động tương đối.

I. LỰC TÁC DỤNG LÊN CHẤT LỎNG - ÁP SUẤT THUỶ TĨNH

1. Lực tác dụng lên chất lỏng

Ở trạng thái tĩnh, chất lỏng chịu tác dụng của hai loại ngoại lực:

- Lực khối lượng (hay lực thể tích) tác dụng lên chất lỏng tỉ lệ với khối lượng (như trọng lực, lực quán tính...)

- Lực bề mặt là lực tác dụng lên bề mặt của khối chất lỏng (như áp lực khí quyển tác dụng lên bề mặt tự do của chất lỏng...)

2. Áp suất thuỷ tĩnh

a) Định nghĩa:

Áp suất thuỷ tĩnh là những ứng suất gây ra bởi các lực khối và lực bề mặt. Ta hãy xét một thể tích chất lỏng giới hạn bởi diện tích Ω (Hình 2 -1). Tưởng tượng cắt khối chất lỏng bằng mặt phẳng AB, chất lỏng phần I tác dụng lên phần II qua diện tích mặt cắt ω. Bỏ I mà vẫn giữ II ở trạng thái cân bằng thì phải thay tác dụng I lên II bằng lực P gọi là áp suất thuỷ tĩnh tác dụng lên mặt ω.

Áp suất trung bình: $P_{tb} = \frac{P}{\omega}$

Áp suất tại điểm M: $P_M = \lim_{\Delta\omega \to 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega}$.

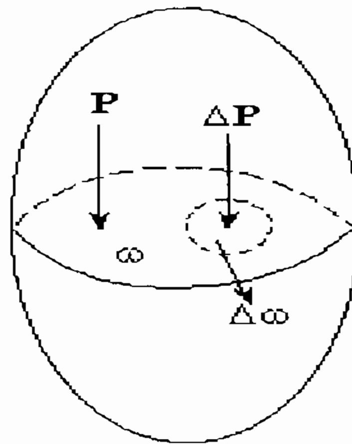
Đơn vị áp suất:

$N/m^2 = P_a$ *(pascal)*

$1at = 9{,}8.\ 10^4 N/m^2 = 10^4 KG/m^2$

$= 10mH_2O = 1KG/cm^2$.

b) Hai tính chất của áp suất thuỷ tĩnh.



Hình 2-1. Sơ đồ xác định áp lực thuỷ tĩnh

- Tính chất 1: Áp suất thuỷ tĩnh luôn luôn tác dụng thẳng góc và hướng vào mặt tiếp xúc (hình 2-2) có thể tự chứng minh bằng phản chứng.

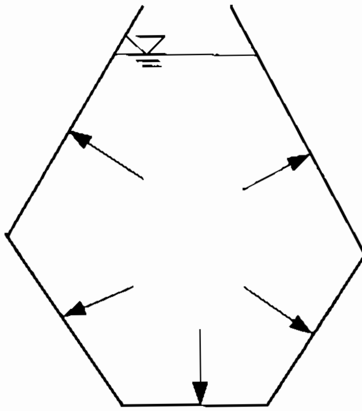
- Tính chất 2: Áp suất thuỷ tĩnh tại mỗi điểm theo mọi phương bằng nhau.

Biểu thức: $p_x = p_y = P_z = p_n$ (2-1)

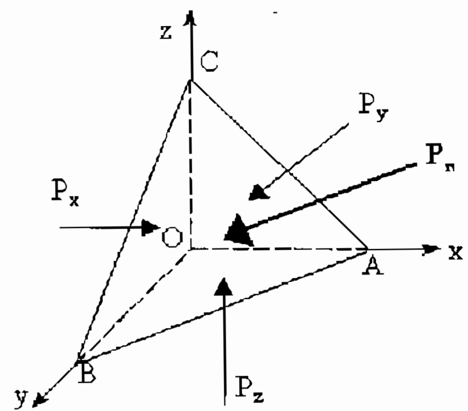
Có thể chứng minh bằng cách xét khối chất lỏng tứ diện có các cạnh d_x, d_y, d_z, vô cùng bé. Chứng minh biểu thức (2-1) khi d_x, d_y, $d_z \to 0$ (tham khảo thêm [1]).

Ta cũng nhận thấy áp suất thuỷ tĩnh tại một điểm chỉ phụ thuộc vào vị trí của nó:

$$p = f(x, y, z) \quad (2\text{-}2)$$



Hình 2-2. Biểu diễn áp suất thuỷ tĩnh vuông góc và hướng vào mặt



Hình 2-3. Biểu diễn áp suất thuỷ tĩnh theo mọi phương đều bằng nhau

II. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CỦA CHẤT LỎNG CÂN BẰNG (PHƯƠNG TRÌNH ƠLE TĨNH)

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa ngoại lực tác dụng vào một phần tử chất lỏng với nội lực sinh ra trong đó.

Xét một phần tử chất lỏng hình hộp cân bằng có các cạnh *dx*, *dy*, *dz* đặt trong hệ trục toạ độ *oxyz* (Hình 2-4)

Ngoại lực tác dụng lên phần tử chất lỏng xét bao gồm:

Lực khối: $F \sim m = \rho\, dxdydz$

X, Y, Z là hình chiếu lực khối đơn vị lên các trục x, y, z.

Lực mặt tác dụng lên phần tử chất lỏng là các áp lực thuỷ tĩnh tác dụng trên các mặt hình hộp chất lỏng.

Điều kiện cân bằng của phần tử chất lỏng hình hộp là tổng hình chiếu của tất cả các ngoại lực trên bất kỳ trục toạ độ nào cũng bằng không.

Hình chiếu các ngoại lực lên trục x:

$$\Sigma_x = P_x - P'_x + F_x = 0 \qquad (2\text{-}3)$$

Trong đó:

$$F_x = X \rho\, dxdydz$$

$$P_x = \left(p + \frac{dx}{2} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) dydz$$

$$P'_x = \left(p - \frac{dx}{2} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) dydz$$

Thay vào (2-3) ta có:

$$\frac{\partial p}{\partial x} dxdydz + X \rho \, dxdydz = 0$$

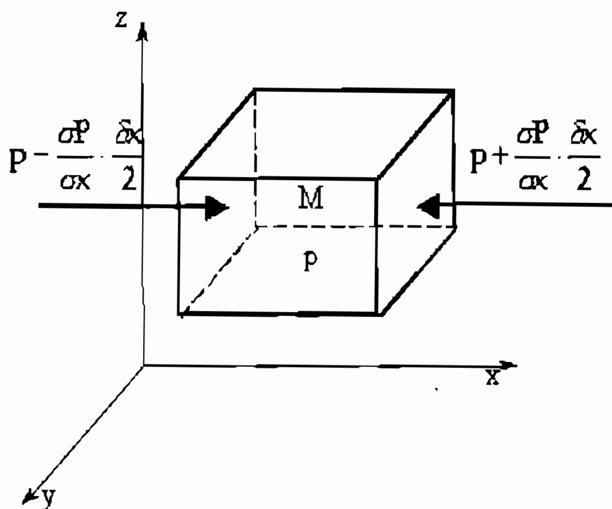
hay:

$$X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \qquad (2\text{-}4a)$$

Tương tự đối với trục *y* và *z*:

$$Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \qquad (2\text{-}4b)$$

$$Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \qquad (2\text{-}4c)$$



Hình 2-4. Thành lập phương trình vi phân của chất lỏng cân bằng

Các phương trình (2- 4a,b,c) là những phương trình Ơle tĩnh viết dưới dạng hình chiếu (do Ơle lập ra năm *1755*).

Mặt khác, nếu nhân lần lượt (2-4a), (2-4b), (2-4c) với dx, dy, dz rồi cộng những phương trình này, lại biến đổi ta có:

$$dp = \rho (Xdx + Ydy + Zdz) \qquad (2\text{-}5)$$

Vì dp là một vi phân toàn phần của áp suất $p, \rho = const$, do đó vế phải của (2-5) cũng phải là vi phân toàn phần. Như vậy, ắt phải tồn tại một hàm số:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = X; \quad \frac{\partial U}{\partial y} = Y; \quad \frac{\partial U}{\partial_z} = Z$$

Hàm số như vậy gọi là hàm số lực và lực được biểu thị bằng hàm số trên gọi là lực có thế. Do đó, chất lỏng có thế ở trạng thái cân bằng chỉ khi lực khối tác dụng lên nó là lực có thế.

III. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA THUỶ TĨNH HỌC (PHƯƠNG TRÌNH Ơ LE TĨNH)

1. Tích phân phương trình Ơle tĩnh

Để giải quyết một số vấn đề thực tế, ta viết phương trình Ơle tĩnh dưới dạng:

$$dp = \rho\left(\frac{\partial U}{\partial x}dx + \frac{\partial U}{\partial y}dy + \frac{\partial U}{\partial z}dz\right) \qquad (2\text{-}6)$$

hay: $dp = \rho dU$.

Tích phân(2-7) ta được:

$$p = \rho U + C \qquad (2\text{-}7)$$

Để xác định hằng số tích phân C cần phải có điều kiện biên, giả sử biết áp suất p_o của 1 điểm nào đó trong chất lỏng và có trị số hàm số lực U_o tương ứng, thay vào (2-8) ta có:

$$C = p_o - \rho U_o \qquad (2\text{-}8)$$

Thay (2-9) vào (2-8):

$$p = p_o + \rho(U - U_o) \qquad (2\text{-}9)$$

Như vậy, dùng phương trình (2-9) có thể xác định được áp suất thuỷ tĩnh tại bất kỳ điểm nào trong chất lỏng, nếu biết được trị số của hàm U và điều kiện biên u_o; p_o.

2. Mặt đẳng áp

Mặt đẳng áp là một mặt trên đó tại mọi điểm, áp suất đều bằng nhau, từ (2-5) ta có phương trình mặt đẳng áp:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

Trong đó: $X = \frac{\partial U}{\partial x}; Y = \frac{\partial U}{\partial y}; Z = \frac{\partial U}{\partial z}$.

Mặt tự do là mặt đẳng áp, áp suất tác dụng trên nó có trị số bằng áp suất khí quyển.

3. Phương trình cơ bản của thuỷ tĩnh học

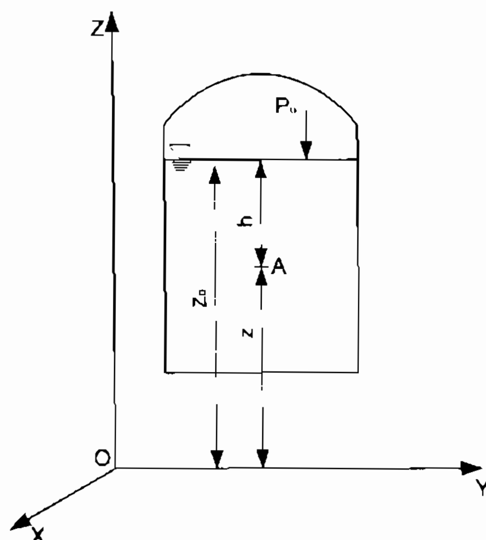
Xét trường hợp chất lỏng cân bằng dưới tác dụng của lực khối là trọng lực.

Giả sử khối chất lỏng đọng trong bình kín, đặt trong hệ trục toạ độ *oxyz* (hình 2-5). Áp suất tác dụng bề mặt chất lỏng là p_o. Hình chiếu lực khối lên các trục:

$$x\,,\,y\,,\,z:\ X = \frac{\partial U}{\partial x} = 0$$

$$Y = \frac{\partial U}{\partial y} = 0$$

$$Z = \frac{\partial U}{\partial z} = -g$$



Hình 2-5. Sơ đồ xác định phương trình cơ bản của thuỷ tĩnh học

Phương trình (2-5) trong trường hợp khảo sát ở đây có dạng:

$$dp = -\rho g dz = -\gamma dz$$

$$p = -\gamma Z + C \qquad (2\text{-}10)$$

Để xác định C với điều kiện biên là trên bề mặt chất lỏng (Z_o, p_o) ta có:

$$C = p_o + \gamma Z_o$$

Thay C vào (2-10): $p = p_o + \gamma(Z_o - Z)$ (2-11)

Như vậy, với một điểm A bất kỳ trong chất lỏng có toạ độ Z và ở độ sâu $h = Z_o - Z$; ta có thể viết được phương trình cơ bản của thuỷ tĩnh học:

$$p = p_o + \gamma h \qquad (2\text{-}12)$$

Nghĩa là áp suất tại bất kỳ một điểm nào của chất lỏng ở trạng thái tĩnh bằng áp suất ở mặt tự do cộng với trọng lượng cột chất lỏng (đáy là một đơn vị diện tích, chiều cao là độ sâu của điểm đó).

4. Ý nghĩa của phương trình cơ bản của thuỷ tĩnh học

a. Ý nghĩa hình học hay thủy lực:

Z - độ cao hình học

$\frac{p}{\gamma}$ - độ cao đo áp

$Z + \frac{p}{\gamma} = H$ - cột áp thuỷ tĩnh.

Từ phương trình cơ bản của thuỷ tĩnh học ta dễ dàng nhận thấy rằng, cột áp thuỷ tĩnh tại mọi điểm trong một môi trường chất lỏng cân bằng là một hằng số.

b. Ý nghĩa năng lượng:

Z - vị năng đơn vị

$\frac{p}{\gamma}$ - áp năng đơn vị

$Z + \frac{p}{\gamma} = H = const$ - thế năng đơn vị

Vậy thế năng đơn vị của mọi điểm trong một môi trường chất lỏng cân bằng đều bằng nhau và bằng cột áp thuỷ tĩnh.

5. Phân biệt các loại áp suất

Áp suất thuỷ tĩnh được tính theo (2-12) là áp suất tuyệt đối (p_t)

Lấy áp suất khí quyển (p_a) để so sánh:

Nếu áp suất tuyệt đối lớn hơn áp suất khí quyển ta có áp suất dư (p_d):

$$p_d = p_t - p_a$$

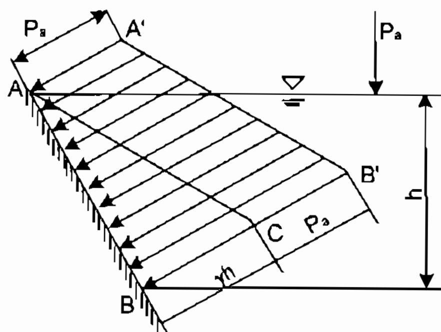
Nếu áp suất tuyệt đối nhỏ hơn áp suất khí quyển ta có áp suất chân không (p_{ck}):

$$p_{ck} = p_a - p_t$$

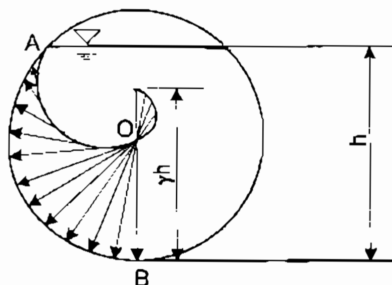
6. Biểu đồ phân bố áp suất thuỷ tĩnh

Biểu diễn sự phân bố áp suất theo chiều sâu trong chất lỏng. Từ phương trình cơ bản của thuỷ tĩnh học $p_t = p_o + \gamma h$ là dạng phương trình bậc nhất $y = ax + b$, ta có b tương ứng với áp suất trên mặt thoáng của chất lỏng (p_o), còn hệ số góc a tương ứng trọng lượng riêng của chất lỏng và γh thay đổi theo độ sâu trong chất lỏng.

Từ đó ta có thể dễ dàng vẽ được biểu đồ áp suất thuỷ tĩnh tuyệt đối và áp suất dư tác dụng lên mặt phẳng AB chìm trong chất lỏng có độ sâu h (hình 2-6). Biểu diễn ABC và AA'B'B.



Hình 2-6. Biểu đồ áp suất thuỷ tĩnh tác dụng lên mặt phẳng nghiêng



Hình 2-7. Biểu đồ áp suất thuỷ tĩnh tác dụng lên mặt trụ tròn nằm ngang

Nếu trường hợp mặt chịu áp suất thuỷ tĩnh là một mặt cong thì cách vẽ cũng tương tự, chỉ có điều véc tơ biểu thị áp suất tại các điểm không song song với nhau nên phải vẽ từng điểm rồi nối lại. Vẽ càng nhiều điểm thì biểu đồ càng chính xác. Hình 2-7 vẽ biểu đồ áp suất dư tác dụng lên một thùng hình trụ tròn nằm ngang chứa chất lỏng ở độ sâu h.

IV. TĨNH TƯƠNG ĐỐI

Chất lỏng chuyển động so với hệ toạ độ cố định, hệ toạ độ theo được gắn liền với khối chất lỏng chuyển động. Lực khối trong trường hợp này gồm trọng lực và lực quán tính của chuyển động theo. Ta xét hai dạng tĩnh tương đối đặc trưng sau:

1. Bình chứa chất lỏng chuyển động thẳng thay đổi đều (gia tốc $\vec{a}$ = const)

Chọn hệ trục toạ độ như hình vẽ (hình 2-8)

Xuất phát từ phương trình (2-5):

$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$

Lực khối: Trọng lực $\vec{G} = m\vec{g}$

Lực quán tính $\vec{F}_{qt} = -m\vec{a}$

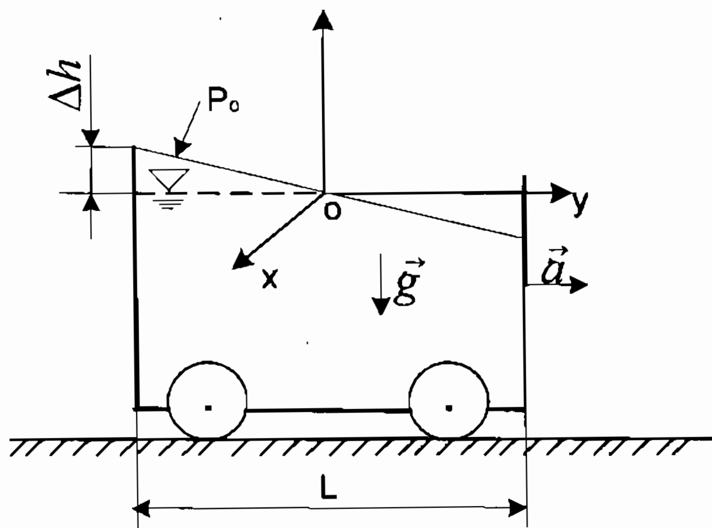
Chiếu lực khối đơn vị lên các hệ trục toạ độ:

$X = 0; Y = -a; Z = -g.$

do đó $dp = \rho(-ady - gdz)$

$\rightarrow p = -\rho ay - \rho gz + c$

Tại $y = 0, z = 0: p = c = p_o$



Hình 2-8. Chuyển động thẳng thay đổi đều (a = const)

- Áp suất tại mặt thoáng.

Vậy, phân bố áp suất tại mọi điểm trong chất lỏng:

$P = p_o - \rho(ay + gz)$

Phương trình mặt đẳng áp: $p = const, dp = 0$

$ady + gdz = 0 \rightarrow ay + gz = C$

Vậy mặt đẳng áp là mặt phẳng nghiêng một góc α:

$$|tg\alpha| = \frac{a}{g};$$

- $\frac{a}{g} < 0 \rightarrow a > 0$: chuyển động nhanh dần đều

- $\frac{a}{g} > 0 \rightarrow a < 0$: chuyển động chậm dần đều.

Lưu ý: Ứng dụng trường hợp trên để xác định được mực nước dâng lên cao bao nhiêu khi xe chứa chất lỏng chuyển động nhanh, chậm dần đều. Tìm những biện pháp cần thiết để đảm bảo việc cung cấp nhiên liệu được điều hoà ở bộ chế hoà khí của ôtô, máy bay v.v.

2. Bình chứa chất lỏng quay đều với vận tốc góc ω = const

Chọn hệ trục toạ độ như hình vẽ (hình 2-9)

Lực khối:

$G = mg$ - Trọng lực

$F_{qt} = m\,\omega^2 r$ - Lực quán tính ly tâm

Hình chiếu lực khối đơn vị:

$X = \omega^2 x;\ Y = \omega^2 y;\ Z = -g$

do đó: $dp = \rho(\omega^2 xdx + \omega^2 ydy - gdz)$

$$p = \rho\frac{\omega}{2}(x^2 + y^2) - \rho gz + C$$

Tại 0: $x = y = z = 0$: $p = c = p_o$

$$\rightarrow p = \rho\frac{\omega^2}{2}r^2 - \gamma Z + p_o$$

Phương trình mặt đẳng áp:

$$\rho\omega^2\frac{r^2}{2} - \gamma Z = C$$

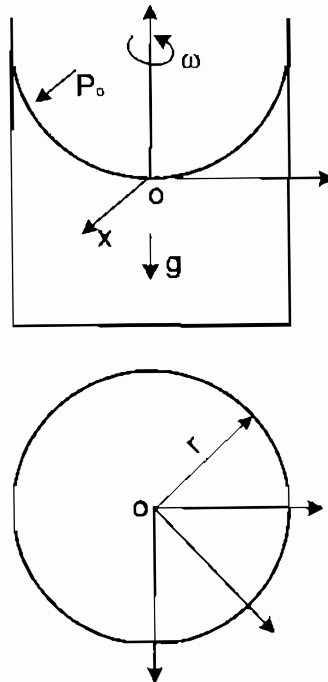
Đó là phương trình mặt paraboloit tròn xoay quay quanh trục oZ.

Phương trình mặt thoáng (mặt tự do):

$p = p_o$

$$\rho\frac{\omega^2 r^2}{2} - \gamma Z = 0$$

do đó: $\Delta h = Z = \rho\frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$



Hình 2-9. Bình chứa chất lỏng quay đều (ω = const)

* *Lưu ý:* Dựa trên hiện tượng này người ta chế tạo các máy đo vòng quay, các hệ thống bôi trơn ở trục, các hệ thống lắng li tâm, đúc các bánh xe, các ống gang, thép v.v.

V. TÍNH ÁP LỰC THUỶ TĨNH

1. Xác định áp lực thuỷ tĩnh lên hình phẳng

Tính áp lực P lên diện tích S (Hình 2-10). Phải xác định 3 yếu tố: phương chiều, trị số và điểm đặt của P.

Cách tính: tính dP tác dụng trên dS, sau đó tích phân trên toàn S sẽ được P.

- Phương chiều: $P \perp S$ và hướng vào mặt tác dụng.

- Trị số:

$$P = \int_S dP = \int_S pdS = \int_S (p_o + \gamma h)dS = \int_S p_o dS + \int_S \gamma h dS = p_o S + \gamma \sin\alpha \int_S y dS$$

$$P = p_o S + \gamma \sin\alpha . y_c S = S(p_o + \gamma h_c) = p_c S \qquad (2\text{-}13)$$

Trong đó:

h_c-độ sâu của trọng tâm hình phẳng

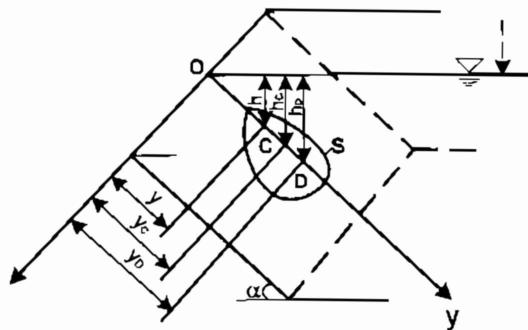
p_c-áp suất tại trọng tâm

$\int_S y dS = y_c S$ - mô men tĩnh của hình phẳng xét đối với ox

Nếu $p_o = p_a \rightarrow$ áp lực thuỷ tĩnh dư:

$$P_d = \gamma h_c S \qquad (2\text{-}14)$$

- Điểm đặt: Xét trường hợp hình phẳng có trục đối xứng. Gọi D' là điểm đặt của P.



Hình 2-10. Sơ đồ xác định áp lực thuỷ tĩnh lên hình phẳng

Áp dụng định lý varinhong: Mô men của hợp lực (P) đối với một trục bằng tổng các mô men của các lực thành phần (dP) đối với trục đó.

Lấy mô men đối với trục x: $P_d y_D = \int_S y dP_d$

$$P_d . y_D = \gamma h_c S\, y_D = \gamma y_c \sin\alpha\, S\, y_D$$

$$\int_S y dP_a = \int_S y \gamma h dS = \int_S y \gamma y \sin\alpha dS = \gamma \sin\alpha \int_S y^2 dS = \gamma \sin\alpha J_x$$

vì $J_x = \int\limits_S y^2 dS = J_o + y_c^2.S$ - mô men quán tính của S đối với trục x.

J_o - mô men quán tính trung tâm.

Thay các giá trị J_x vào biểu thức trên, ta rút ra điểm đặt của P:

$$y_D = y_c + \frac{J_O}{y_c.S} \qquad (2\text{-}15)$$

2. Xác định áp lực thuỷ tĩnh lên hình cong

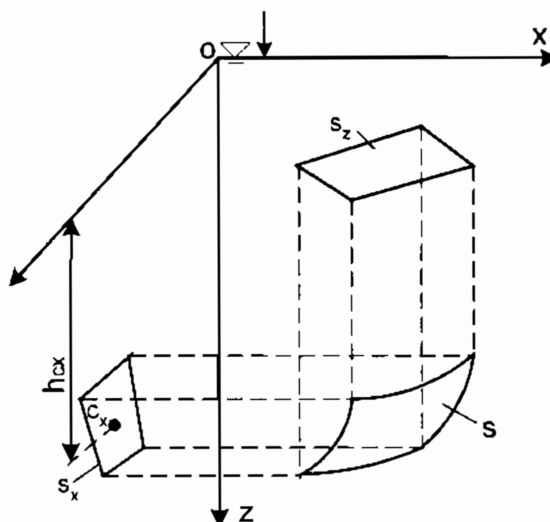
Ở đây ta xét một số trường hợp thành cong là hình cầu, hình trụ. Các lực phân tố không song song nhau.

Cách tính: Xác định những thành phần của áp lực thuỷ tĩnh có phương khác nhau không cùng nằm trong một mặt phẳng sau đó cộng hình học những lực thành phần, kết quả sẽ cho ta trị số của áp lực thuỷ tĩnh lên mặt cong về trị số cũng như phương chiều. Điểm đặt của chúng thì được xác định theo phương pháp đồ giải.

$$P\ (P_x, P_y, P_z);$$

Xét trường hợp thành cong S của bình chứa có một mặt tiếp xúc với chất lỏng, còn mặt kia tiếp xúc với không khí.

Hệ trục toạ độ chọn như hình vẽ (hình 2-11)



Hình 2-11

Lấy một vi phân diện tích dS (coi như phẳng), vi phân áp lực thuỷ tĩnh dP tác dụng lên dS ở độ sâu h được xác định:

$$dP = \gamma h\, dS; dP \perp dS$$

$$P_x = \int_{S_x} dP_x = \int_{S_x} \gamma h dS_x = \gamma h_{cx} S_x$$

$$P_y = \int_{S_y} dP_y = \int_{S_y} \gamma h dS_y = \gamma h_{cy} S_y$$

$$P_z = \int_{S_z} dP_z = \int_{S_z} \gamma h dS_z = \gamma V$$

Trong đó:

S_x , S_y- Hình chiếu của S lên mặt phẳng vuông góc với ox, oy;

h_{cx} , h_{cy}- Độ sâu của trọng tâm S_x , S_y.

V - Thể tích hình trụ có đáy dưới là hình cong S, đáy trên là hình chiếu của S lên mặt thoáng S_z (V còn gọi là vật thể áp lực).

Vậy: $$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \qquad (2\text{-}16)$$

Phương của áp lực thuỷ tĩnh P lập với hệ toạ độ $oxyz$ các góc xác định bởi các cosin định hướng sau:

$$cos(P,x) = \frac{P_x}{P}$$

$$cos(P,y) = \frac{P_y}{P} \qquad (2\text{-}17)$$

$$cos(P,z) = \frac{P_z}{P}$$

Điểm đặt là giao điểm của phương lực P vuông góc với mặt cong. Nếu mặt cong là một phần mặt trụ trong nằm ngang thì áp lực thuỷ tĩnh P lên mặt đó lập thành một góc α với phương ngang: $tg\alpha = \dfrac{P_z}{P_x}$

Áp lực thuỷ tĩnh P đi qua trục tâm của mặt trụ tròn.

3. Phương pháp đồ giải

Ngoài cách xác định áp lực thuỷ tĩnh theo phương pháp giải tích đã trình bày ở trên, trong một số trường hợp đơn giản ta có thể xác định nhanh bằng phương pháp đồ giải.

Ví dụ 1: Tính áp lực thuỷ tĩnh tác dụng lên tấm phẳng thẳng đứng hình chữ nhật có chiều cao h, chiều rộng b (hình 2-12).

- Phương pháp giải tích:

Theo công thức (2-14), ta tính áp lực thuỷ tĩnh dư: $P = \gamma h_c S$

Độ sâu của trọng tâm thành bể thẳng đứng $h_c = h/2$ và $S = bh$.

Thay vào phương trình trên ta có: $P = \dfrac{1}{2}\gamma h bh = \gamma \dfrac{h^2}{2} b$

Điểm đặt áp lực P tính theo công thức (2-15): $y_D = y_C + \dfrac{J_o}{y_C S}$

Trong đó: $y_C = \dfrac{h}{2}$ và $J_o = \dfrac{bh^3}{12}$, $S = bh$

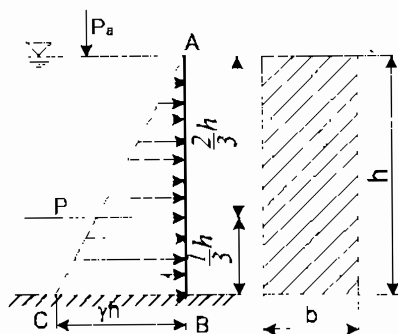
Thay vào ta có: $y_D = \dfrac{h}{2} + \dfrac{bh^3}{12h\dfrac{bh}{2}} = \dfrac{2}{3}h$

- Phương pháp đồ giải:

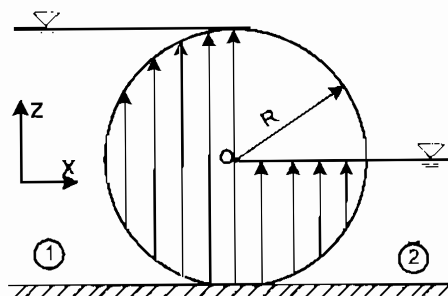
Vẽ biểu đồ áp suất thuỷ tĩnh dư tác dụng lên tấm phẳng ta được tam giác vuông ABC (đáy là γh, cao là h). Theo công thức tính áp lực thuỷ tĩnh lên hình phẳng (2-14):

$$P = \gamma h_c S = \gamma \frac{h}{2} hb = \gamma h \frac{h}{2} b = \Omega b$$

Trong đó: $\Omega = \gamma h \dfrac{h}{2}$ - diện tích tam giác biểu đồ phân bố áp suất thuỷ tĩnh.



Hình 2-12. Biểu đồ phân bố áp suất xác định áp lực thuỷ tĩnh lên tấm phẳng



Hình 2-13. Biểu đồ phân bố áp suất xác định áp lực thuỷ tĩnh lên trụ tròn

Vậy áp lực thuỷ tĩnh có trị số bằng trọng lượng khối chất lỏng hình trụ có đáy là biểu đồ áp suất ($\gamma h\frac{h}{2}$) và chiều cao là bề rộng của cánh cửa (b)

Điểm đặt của P đi qua trọng tâm biểu đồ áp suất và vuông góc với mặt tác dụng (P đi qua trọng tâm ΔABC, cách A một khoảng $2/3\ h$)

Ví dụ 2: Tính áp lực lên trụ tròn có bán kính R, chiều dài b

Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ (hình 2-13). P ở trường hợp này chỉ bao gồm P_x và P_z; $P_x = P_{1x} - P_{2x}$ được xác định theo biểu đồ áp suất:

$P_x = \gamma 2R.\ R.\ b - \gamma R.\ (R/2).\ b = (3/2)\ \gamma R^2 b$ $P_z = P_{1z} + P_{2z} = \gamma V_1 + \gamma V_2 =$

$$= \gamma \frac{\pi R^2}{2} b + \gamma \frac{\pi R^2}{4} b = \frac{3}{4} \gamma \pi R^2 b$$

vậy $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$

Phương của P đi qua trục tâm và nghiêng 1 góc α so mặt phẳng nằm ngang một góc α xác định bởi: $\cos\alpha = \frac{P_x}{P}$ hay $\sin\alpha = \frac{P_z}{P}$

Điểm đặt của P là giao điểm của phương P vuông góc với mặt cong.

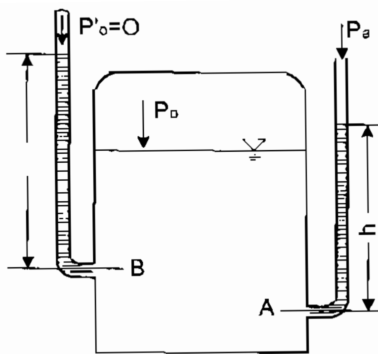
VI. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA THUỶ TĨNH HỌC

1. Dụng cụ đo áp suất

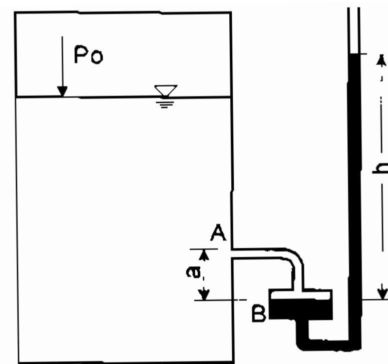
a. Ống đo áp: Là một ống thuỷ tinh đường kính không nhỏ hơn 10mm. Đầu dưới nối với nơi cần đo áp suất, đầu trên hở thông với khí quyển (để đo áp suất dư) hoặc kín được hút hết không khí trong ống ra (để đo áp suất tuyệt đối) (hình 2-14).

Khi nối ống đo áp vào nơi cần đo, chất lỏng sẽ dâng lên trong ống với một độ cao nhất định ta sẽ xác định được áp suất tại điểm đó: $P_d = \gamma h$ và $P_t = \gamma h'$

Dùng ống đo áp để đo các áp suất nhỏ cần có độ chính xác cao, do đó người ta thường dùng ống đo áp trong các phòng thí nghiệm.



Hình 2-14. Ống đo áp



Hình 2-15. Áp kế thuỷ ngân kiểu chậu

b. Áp kế thuỷ ngân: Là một ống thuỷ tinh hình chữ U đựng thuỷ ngân (Hình 2-15); ở nhánh trái của ống nơi nối với chỗ cần đo áp suất có một bầu lớn mục đích để khi đo, thuỷ ngân di chuyển trong ống thì mức thuỷ ngân ở bầu hầu như không thay đổi.

Áp suất dư tại A được xác định: $P_d = \gamma_{Hg} h - \gamma a$

c. Chân không kế thuỷ ngân:

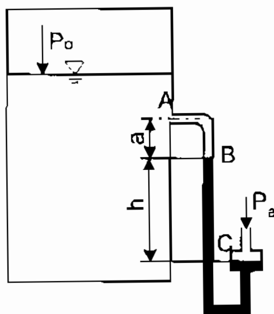
Cấu tạo (hình 2-16). Tính áp suất chân không tại A ta có:

$P_{CKA} = \gamma_{Hg} h + \gamma a$

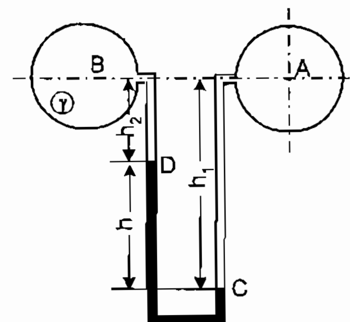
d - Áp kế đo chênh: Để đo độ chênh lệch về áp suất tại hai điểm. Nó là một áp kế hình chữ U (Hình 2-17) $P_A - P_B = (\gamma_{Hg} - \gamma)h$

**Lưu ý*: Ngoài thuỷ ngân ra còn có thể dùng các chất lỏng khác trong các áp kế, chân không kế như cồn, nước v.v.

Những loại áp kế dùng chất lỏng nói trên thường được dùng để đo trong các phòng thí nghiệm với độ cao chính xác cao.

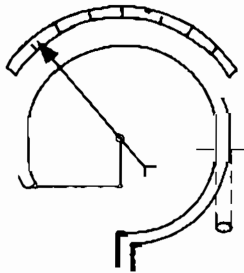


Hình 2-16. Chân không kế thuỷ ngân

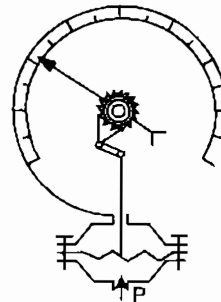


Hình 2-17. Áp kế đo chênh

Trong thực tế kỹ thuật thường dùng các loại áp kế bằng kim loại như áp kế lò xo (Hình 2-18), áp kế màng (Hình 2-19). Các áp kế này cho ta ngay trị số đọc được trên đồng hồ đo là áp suất dư đối áp kế và áp suất chân không đối chân không kế.



Hình 2-18. Áp kế lò xo hình ống



Hình 2-19. Áp kế màng

2. Định luật Patscan và ứng dụng thực tế

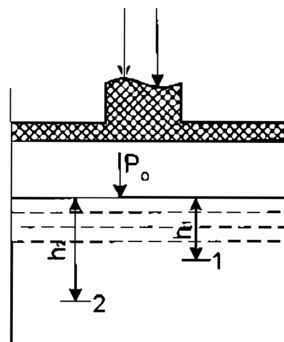
a. Định luật Patscan: "Trong một bình kín chứa chất lỏng ở trạng thái tĩnh, áp suất do ngoại lực tác dụng lên mặt thoáng được truyền nguyên vẹn tới mọi điểm của chất lỏng".

Xét một bình đựng chất lỏng đậy kín bằng một píttông có áp suất trên mặt thoáng là p_o (hình 2-20). Tại hai điểm bất kỳ 1 và 2 ở độ sâu h_1 và h_2 áp suất bằng: $p_1 = p_o + \gamma h_1$

$p_2 = p_o + \gamma h_2$

Nếu ta nén píttông để làm tăng áp suất trên mặt thoáng lên một lượng Δp thì áp suất trên mặt thoáng trở thành:

$p_o' = p_o + \Delta p$



Hình 2-20. Sơ đồ minh hoạ định luật Patscan

và áp suất tại các điểm 1 và 2 lúc này bằng:

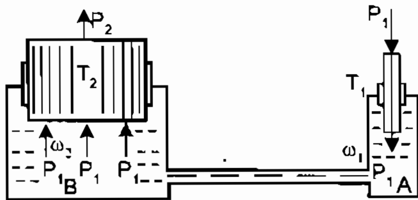
$p_1' = p_o' + \gamma h_1 = p_1 + \Delta p$

$p_2' = p_o' + \gamma h_2 = p_2 + \Delta p$

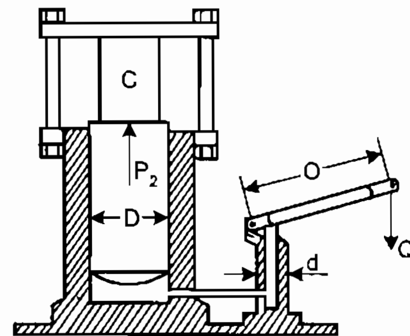
Rõ ràng lượng tăng áp suất Δp đã được truyền nguyên vẹn đến điểm 1 và 2. Vì hai điểm này được chọn bất kỳ nên kết luận trên đây cũng đúng cho mọi điểm khác trong chất lỏng.

b. Ứng dụng của định luật Patscan rất rộng rãi trong kỹ thuật, dựa trên nguyên tắc cơ bản là truyền áp suất bên trong chất lỏng, người ta đã chế tạo một số loại máy thủy lực: máy ép thủy lực, máy tích năng, máy tăng áp, kích, cơ, cần truyền lực và truyền động bằng thủy lực...

Ở đây ta chỉ xét một ứng dụng cụ thể: máy ép thủy lực. Sơ đồ làm việc của máy ép thủy lực (Hình 2-21) gồm hai bộ phận chính: một xi lanh B và píttông lớn T_2 có tiết diện ω_2, một xi lanh A và píttông nhỏ T_1 có tiết diện ω_1. Hai xi lanh thông nhau và đựng chất lỏng, một cánh tay đòn quay quanh trục O (Hình 2-22)



Hình 2-21. Sơ đồ nguyên tắc máy ép thủy lực đơn giản



Hình 2-22. Sơ đồ máy ép thủy lực đơn giản

Khi tác dụng vào cánh tay đòn lực Q, gây lên lực P_1 ở píttông nhỏ, áp suất ở xi lanh nhỏ là: $P_1 = \dfrac{P}{\omega_1}$

Theo định luật Patscan, áp suất do píttông nhỏ tác dụng vào chất lỏng p_1 được truyền nguyên vẹn đến xi lanh lớn cũng là p_1.

Áp lực tác dụng lên mặt píttông lớn là: $P_2 = \omega_2 p_1$

thay p_1 từ biểu thức trên ta được:

$$P_2 = \frac{P_1}{\omega_1}\omega_2 \text{ hay } \frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Nếu coi P_1, ω_1 không đổi thì muốn tăng P_2 ta phải tăng diện tích mặt píttông lớn ω_2.

3. Định luật Acsimét - cơ sở lý luận về vật nổi

a. Định luật Acsimét

"Một vật ngập trong chất lỏng chịu một lực đẩy của chất lỏng thẳng đứng từ dưới lên trên bằng trọng lượng của thể tích chất lỏng bị vật choán chỗ và gọi là lực đẩy Acsimét".

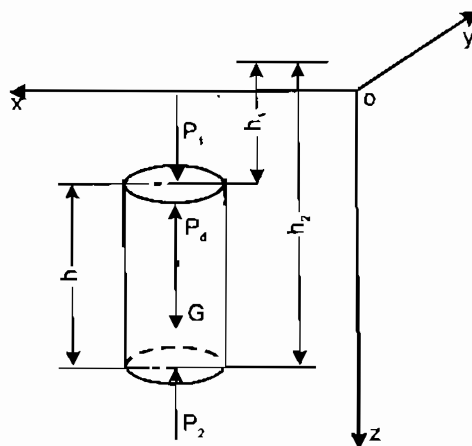
Để chứng minh, ta xét một hình trụ ngập trong chất lỏng (hình 2-23), vật này chịu tác dụng của những lực sau:

- Áp lực P_1 tác dụng lên mặt hình trụ: $P_1 = \gamma h_1 \omega$
- Áp lực P_2 tác dụng lên đáy hình trụ:

$$P_2 = \gamma h_2 \omega$$

- Áp lực lên mặt xung quanh hình trụ: Có phương ngược nhau và có trị số bằng nhau nên triệt tiêu lẫn nhau. Tổng hợp lại vật chịu tác dụng một lực đẩy P_d:

$$P_d = P_2 - P_1 = \gamma h_2 \omega - \gamma h_1 \omega = \gamma \omega h$$



Hình 2-23. Sơ đồ minh hoạ định luật Acsimet

hay: $P_d = \gamma V$

γV là trọng lượng của thể tích chất lỏng bị vật choán chỗ.

Điểm đặt của lực đẩy P_d là trọng tâm của thể tích chất lỏng bị choán chỗ gọi là tâm đẩy. Thông thường thì tâm đẩy không trùng với trọng tâm của vật, chỉ có trọng tâm của một vật rắn đồng chất mới trùng với tâm đẩy.

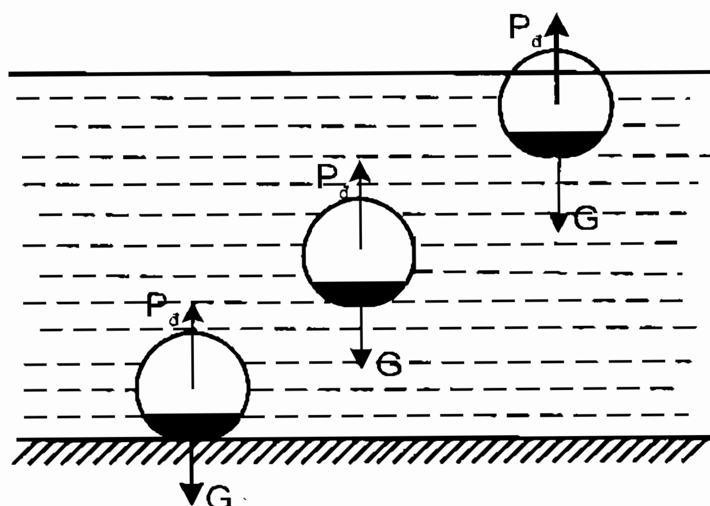
b. Điều kiện nổi của một vật:

Căn cứ vào tương quan giữa lực đẩy Acsimet P_d và trọng lượng của vật G, ta có 3 trường hợp sau (hình 2-24):

Nếu $G > P_d$ - Vật chìm xuống đáy;

Nếu $G = P_d$ - Vật lơ lửng trong chất lỏng;

Nếu $G < P_d$ - Vật bị đẩy nổi lên khỏi mặt chất lỏng đến khi nào trọng lượng phần thể tích vật ngập trong chất lỏng (lực đẩy P_d.) bằng trọng lượng vật G thì thôi.

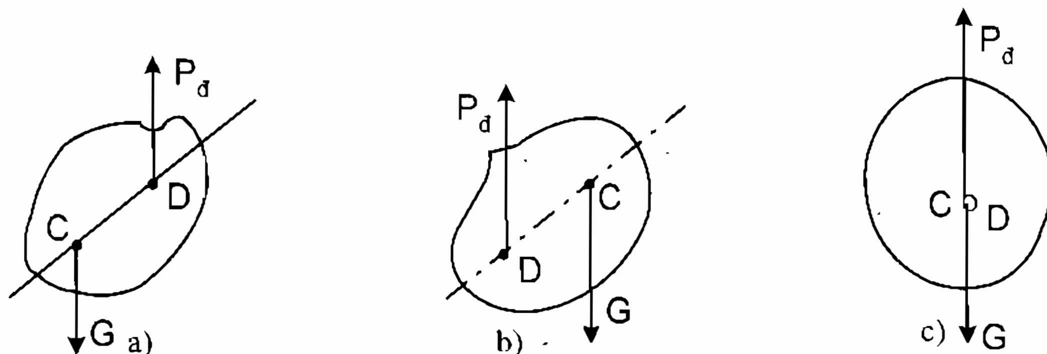


Hình 2-24. Điều kiện nổi của vật

c. Tính ổn định của vật

Là khả năng khôi phục lại vị trí cân bằng của vật khi làm thay đổi vị trí của vật.

Ta thấy rằng một vật nổi trong chất lỏng muốn cân bằng thì ngoài điều kiện lực đẩy bằng trọng lượng của vật còn phải có điều kiện trọng tâm C và tâm đẩy D ở trên cùng một đường thẳng.



Hình 2-25. Ba trường hợp ổn định của vật

Thực tế có thể có những ngoại lực đặt vào vật nổi làm mất trạng thái cân bằng, vật bị nghiêng đi. Nghiên cứu tính ổn định của vật ta thấy:

- Nếu trọng tâm *C* thấp hơn tâm đẩy *D* (hình 2-25a) thì vật ở trạng thái cân bằng bền. Khi vật bị ngoại lực làm nghiêng đi thì vật có khả năng khôi phục trạng thái cân bằng như cũ.

- Nếu trọng tâm *C* cao hơn tâm đẩy *D* (hình 2-25b) thì vật ở trạng thái cân bằng không bền. Nếu vật bị đẩy ra khỏi trạng thái cân bằng thì không thể khôi phục lại trạng thái cân bằng cũ được mà càng nghiêng đi.

- Nếu trọng tâm *C* và tâm đẩy *D* trùng nhau (hình 2-25c), ta có vật ở trạng thái cân bằng phiếm định. Khi đó bất kỳ ở vị trí nào vật cũng vẫn được cân bằng.

Cơ sở lý luận về vật nổi nói trên được ứng dụng rộng rãi trong việc thiết kế và vận chuyển của tàu thuyền và những vật nổi khác (Tham khảo [1]).

VII. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 2-1:

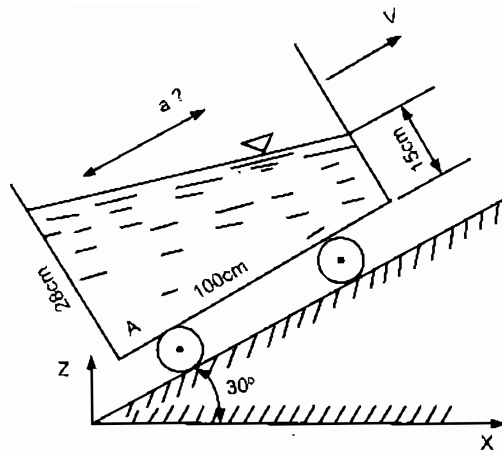
Một bình chứa chất lỏng được chuyển động với gia tốc a theo mặt nghiêng dưới một góc 30^0 so mặt phẳng nằm ngang. Giả thiết rằng bình chuyển động như khối rắn.

Hãy tính:

a) Gia tốc a?

b) Gia tốc a hướng lên trên hay xuống dưới?

c) Xác định áp suất ở điểm A, nếu chất lỏng là thuỷ ngân ở 20^0C?



Giải:

1) Xác định $\vec{a}$

Lực khối tác dụng lên bình chứa chất lỏng chuyển động với gia tốc a bao gồm:

Lực quán tính: $F = -m\vec{a}$

Trọng lực: $G = m\vec{g}$

Chọn hệ trục toạ độ gắn lên bình chất lỏng (hình vẽ), chiếu các thành phần lực khối đơn vị lên các trục toạ độ:

$X = a\cos\alpha;\ Y = 0;\ Z = g + a\sin\alpha$

Thay những trị số trên vào phương trình vi phân chất lỏng cân bằng:

$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$

$dp = \rho[a\cos\alpha dx + (g + \sin\alpha)dz]$

Tích phân phương trình vi phân trên:

$p = \rho[ax\cos\alpha + (g + a\sin\alpha)z] + C$ (1)

Xác định hằng số tích phân C tại 0 (x_0, z_0) trên bề mặt chất lỏng ($p = p_a$):

$C = p_a - \rho[ax_0\cos\alpha + (g + a\sin\alpha)z_0]$

Thay vào phương trình (1):

$p = p_a + \rho[a(x - x_0)\cos\alpha + (g + a\sin\alpha)(z - z_0)]$ (2)

Viết phương trình cho mặt tự do ($p = p_a$)

$Xdx + Ydy + Zdz = 0$

$a(x - x_0)\cos\alpha + (g + a\sin\alpha)(z - z_0) = 0$

$$z - z_0 = -\frac{a\cos\alpha}{g + a\sin\alpha}(x - x_0)$$

Xác định góc nghiêng mặt tự do so mặt phẳng nằm ngang:

$$\beta = arctg\left(-\frac{a\cos\alpha}{g + a\sin\alpha}\right)$$

Theo đầu bài ta có: $\theta = arctg\left(\frac{a_x}{g} = \frac{28 - 15}{100} = 0,13\right) = 7,41^0$

Do đó $\beta = 30^0 - \theta = 30 - 7,41 = 22,59^0$

Vậy $tg\beta = tg22,59 = -\frac{a\cos\alpha}{g + a\sin\alpha} = -0,416$

Với $\alpha = 30^0 \rightarrow a\cos\alpha = 0,866\ \alpha$

$a\sin\ \alpha = 0,5\ \alpha$

Do đó: $a = -\ 3,8\ m/s^2$ (a hướng xuống dưới)

2) Xác định áp suất tại điểm A:

Nếu chọn hệ trục toạ độ (trùng với điểm A như hình vẽ)

Xác định x_0, z_0 thay vào (2) ta có:

$p_A = p_a + \rho[a(x - x_0)\cos\alpha + (g + a\sin\alpha)(z - z_0)] = 32200\ N/m^2$

Ví dụ 2-2:

Một khuôn hình trụ có đường kính trong $D = 1120\ mm$ và chiều cao $L = 1000\ mm$, quay với số vòng quay $n = 500\ vòng/phút$ được dùng để đúc ống bằng phương pháp ly tâm. Vữa xi măng dùng đúc ống có $g = 1600kg/m^3$. Nếu chiều dày xi măng thành ống ở đáy dưới $\delta_1 = 60\ mm$, Hãy:

1) Xác định chiều dày xi măng thành ống ở đầu trên của ống δ_2?

2) Phải làm gì để giảm sự khác nhau giữa δ_1 và δ_2?

Giải:

1) Xác định chiều dày xi măng thành ống ở đầu trên của ống δ_2

- Vận tốc quay: $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14.500}{30} 52\ 1/s$

$$\frac{\omega^2}{2g} = 139,5\ 1/m$$

- Tổng chiều cao paraboloit quay H được xác định theo công thức:

$$H = \frac{\omega^2 r^2}{2g} = 139{,}5.0{,}56^2 = 53{,}8\ m$$

Chiều cao paraboloit quay h_1 khi:

$$r_1 = \frac{D}{2} - \delta_1 = 560 - 60 = 500\,mm$$

$$h_1 = \frac{\omega^2 r_1^2}{2g} = 139{,}5.0{,}50 = 34{,}9\ m$$

- Xác định bán kính paraboloit quay r_2 ứng với chiều cao $h_2 = h_1 + L$ và chiều dày thành ống ở đầu trên δ_2:

$$h_2 = h_1 + L = \frac{\omega^2 r_2^2}{2g}$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 + L)}{\omega^2}} = \sqrt{\frac{35{,}9}{139{,}5}} = 0{,}507$$

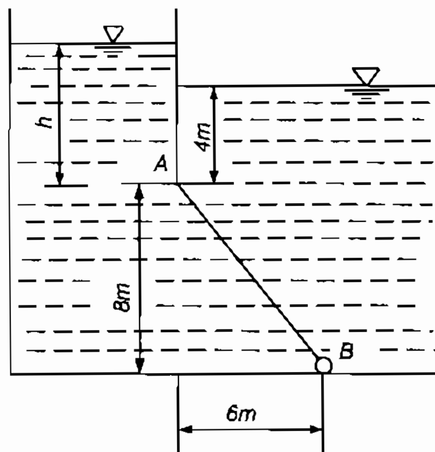
$$\delta_2 = R - r_2 = 560 - 507 = 53\ mm$$

2) Do đó chiều dày thành ống ở đầu trên nhỏ hơn dưới đáy là *7 mm*. Trong trường hợp cần giảm sự khác nhau giữa δ_1 và δ_2 cần phải tăng số vòng quay *n*.

Ví dụ 2-3:

Một cửa van AB có bề rộng $b = 7\ m$; trọng lượng $G = 3000\ N$ được nhúng chìm trong nước (hình vẽ). Cửa van quay quanh khớp bản lề tại B và tựa lên tường phẳng tại A.

Hãy xác định mực nước h để cửa van sẽ bắt đầu mở?



Giải:

Xác định áp lực nước tác dụng lên van AB:

+ Từ phía bên phải:

$F_1 = \gamma h_{c1}\omega = 9810.\ 8.\ 70 = 5493\ N$

Điểm đặt:

$$y_{D1} = y_c + \frac{j_0}{y_c\omega} = 8 + \frac{7.10^3.\sin 53,93^0}{12.8.70} = 8,833\ m$$

+ Từ phía trái:

$F_2 = \gamma h_{c2}\omega = 9810.\ h_{c2}.\ 70 = 686700\ h_{c2}$

Điểm đặt:

$$y_{D2} = y_{c2} + \frac{j_0 \sin 53,93^0}{y_{c2}\omega} = h_{c2} + \frac{6,67}{h_{c2}}$$

Lấy mô men các lực tác dụng lên van đối với điểm B:

$$\sum M_B = 0 = F_2\left(5 - \frac{6,67}{h_{c2}}\right) - F_1(5 - 0,833) - G(5\cos 53,93^0) =$$

$$= 686700h_{c2}\left(5 - \frac{6,67}{h_{c2}}\right) - 5493600(5 - 0,833) - 3000(5\cos 53,93^0)$$

Giải ra ta có: $h_{c2} = 8,412\ m$.

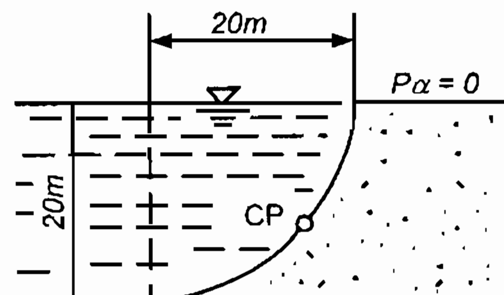
$\rightarrow h = h_{c2} - 4 = 4,41\ m$

Với mực nước $h \geq 4,41\ m$ thì cửa van bắt đầu mở.

Ví dụ 2-4:

Một đập nước là một phần tư mặt trụ bán kính $R = 20\ m$ (có kích thước như hình vẽ), rộng $50\ m$.

Xác định áp lực dư (trị số, phương, chiều, điểm đặt) của nước lên đập?



Giải:

- Xác định trị số áp lực thuỷ tĩnh lên đập:

+ Theo phương ngang:

$P_{ng} = \gamma h_C . \omega_{zoy} = 9810. 10. (20. 50) = 98\ 100\ 000\ N = 98,1\ MN$

+ Theo phương đứng:

$P_d = \gamma . V = 9810. \pi R^2 . B/4 = 9810. 3,14. 20^2 . 50/4 = 15\ 401\ 700\ N$

Áp lực tổng hợp tác dụng lên đập:

$P = \sqrt{P_{ng}^2 + P_d^2} = \sqrt{98,1^2 + 154,017^2} = 182,6057126\ MN$

Phương áp lực theo phương hướng kính;

Chiều hướng vào mặt cong;

Điểm đặt của áp lực xác định như sau:

+ Điểm đặt P_{ng} đi qua trọng tâm biểu đồ phân bố áp suất thuỷ tĩnh theo phương ngang cách mặt tự do: $2/3\ R = 13,33\ m$

+ Điểm đặt P_d đi qua trọng tâm biểu đồ phân bố áp suất thuỷ tĩnh theo phương đứng cách trục z: $\frac{4R}{3\pi} = \frac{4.20}{3.3,14} = 8,49\ m$

Giao điểm của P_d và P_{ng} cắt nhau tại 1 điểm (K) nối OK cắt đập tại Cp - là điểm đặt của hợp lực P - nghiêng với phương nằm ngang 1 góc $\alpha = 57^0 30$.

Toạ độ Cp ($x = 10,74\ m;\ z = 16,87\ m$)

Ví dụ 2-5:

Van K sẽ đậy kín miệng ống dẫn nếu hệ thống đòn bẩy a, b ở vị trí nằm ngang (Hình vẽ).

Tính xem với áp suất của nước trong ống dẫn bằng bao nhiêu thì van K sẽ mở ra được? Biết rằng cánh tay đòn b = 5a, đường kính ống d = 50 mm, đường kính phao cầu D = 200 mm. Trọng lượng phao và hệ thống đòn bẩy không đáng kể.

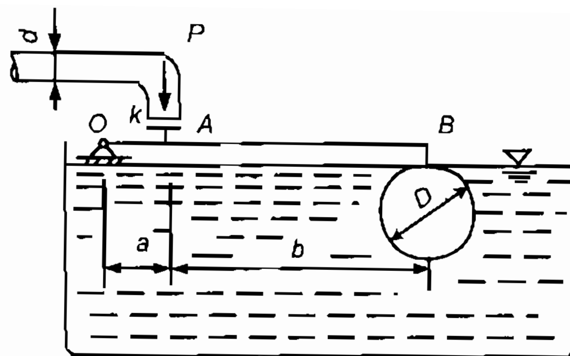
Giải:

Áp lực tác dụng lên van K:

$$P = p\omega = p.\frac{\pi d^2}{4}$$

Lực đẩy Acsimet tác động lên phao hình cầu:

$$P_d = \gamma . V_C = \rho g.\frac{\pi D^3}{6}$$



Tổng mô men đối trục O:

$$\sum M_0 = 0 = a.P - (a+b_i)P_d$$

Thay giá trị P và P_d vào biểu thức trên ta có:

$$a.p.\frac{\pi d^2}{4} - 6a\rho g.\frac{\pi D^3}{6} = 0$$

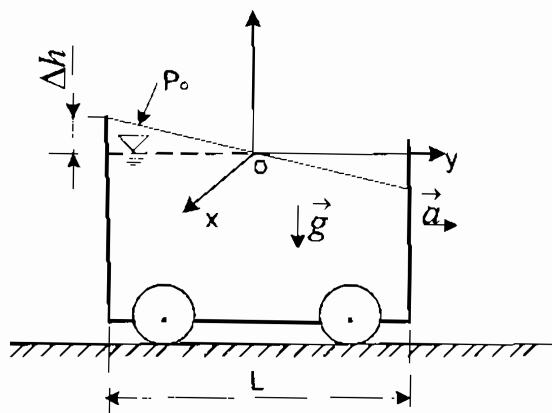
Vậy áp suất giới hạn p của nước để mở van K sẽ là:

$$p \geq \frac{4D^3.\rho g}{d^2} = \frac{4.1000.9,81.0,2^3}{0,05^2} = 12,56.10^4\ N/m^2$$

Bài tập 2-1:

Một toa tàu từ ga, đi với gia tốc đều, sau 3 phút đạt tới vận tốc *30 km/h*.

Hãy viết phương trình mặt tự do của nước đựng trong toa tàu và mực nước Δh dâng lên ở phía cuối toa tàu.



Bài tập 2-2

Bình hình trụ tròn đậy kín có chiều cao H và đường kính D chứa chất lỏng đến 3/4 chiều cao.

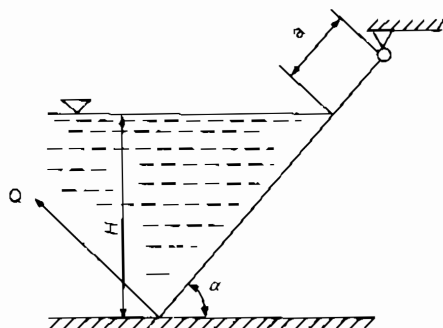
Tính xem bình quay quanh trục thẳng đứng của nó với vận tốc góc ω bằng bao nhiêu để paraboloit tròn xoay của mặt thoáng chạm đáy bình.

Đáp số: $\omega = \omega = \frac{4}{D}.\sqrt{gH}$

Bài tập 2-3

Xác định lực Q để nâng tấm chắn nghiêng một góc a, quay quanh trục O (hình vẽ).

Chiều rộng tấm chắn $b = 1,50\ m$, khoảng cách từ mặt nước đến trục O, $a = 20\ cm$. Góc $\alpha = 60^0$, $H = 1,50\ m$. Bỏ qua trọng lượng tấm chắn và ma sát trên bản lề của trục O.



Đáp số: $Q = 13\ 000\ N$

Bài tập 2-4

Xác định áp lực thuỷ tĩnh và phương của nó tác dụng lên một đập nước hình trụ nằm ngang (đường kính $D = 1m$, chiều dài $l = 3m$) chắn một kênh dẫn nước, chiều sâu kênh $H = 1m$.

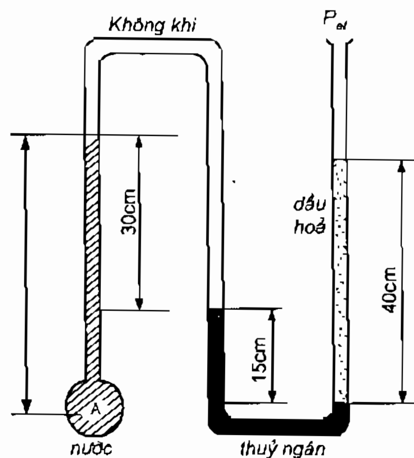
Đáp số: $P = 18740\ N$

$\alpha = 38^0$

Bài tập 2-5

Xác định áp suất dư tại A (tính bằng Pascals). Nó lớn hơn hay nhỏ hơn áp suất khí quyển?

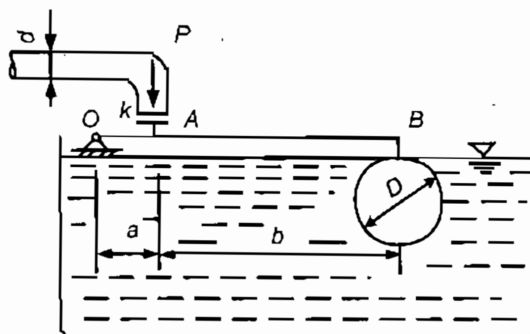
Đáp số: $p_a = -\ 12218\ Pa$



Bài tập 2-6

Nước có áp suất p = 2,5 at chảy qua ống có đường kính d = 15 mm để vào bình chứa (Hình vẽ).

Đóng ống nước tự động bằng van qua hệ thống đòn bẩy và phao. Xác định đường kính của phao hình cầu để có thể đóng ống được, nếu *a = 100 mm*, *b = 500 mm*.



Bỏ qua trọng lượng của van, đòn bẩy và phao.

Đáp số: $D = 11,2\ cm$

Phần hai

THUỶ ĐỘNG LỰC HỌC

Chương 3

CÁC KHÁI NIỆM VÀ PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA THUỶ ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT LỎNG

I. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Thuỷ động lực học (hay là động lực học của chất lỏng) nghiên cứu các qui luật đặc trưng chuyển động của chất lỏng và ứng dụng các quy luật ấy vào thực tiễn sản xuất.

Nhiệm vụ chủ yếu của thuỷ động lực học là xác lập liên hệ giữa những trị số cơ bản đặc trưng cho chuyển động như vận tốc dòng chảy U, độ sâu h và áp suất thuỷ động p sinh ra trong chất lỏng chuyển động. Cần chú ý rằng, áp suất thuỷ động có hướng khác nhau tuỳ theo chất lỏng ta nghiên cứu là chất lỏng thực hay chất lỏng lý tưởng. Trong chất lỏng lý tưởng áp suất thuỷ động hướng theo pháp tuyến của mặt chịu tác dụng; còn trong chất lỏng thực áp suất thuỷ động vẫn hướng vào mặt tác dụng, nhưng không hướng theo pháp tuyến, vì nó là tổng hợp của thành phần ứng suất pháp tuyến và thành phần ứng suất tiếp tuyến do lực nhớt gây ra.

1. Phân loại chuyển động

- Căn cứ vào tính chất chảy, người ta phân ra chuyển động dừng và không dừng:

+ Chuyển động dừng (chảy ổn định): Các yếu tố chuyển động không biến đổi theo thời gian:

$u = u(x,y,z); p = p(x,y,z); h = h(x,y,z)...$

+ Chuyển động không dừng (chảy không ổn định): Các yếu tố chuyển động biến đổi theo thời gian:

$u = u(x,y,z,t); p = p(x,y,z,t); h = h(x,y,z,t)...$

Trong chuyển động dừng được chia ra chảy đều (sự phân bố vận tốc trên mọi mặt cắt dọc theo dòng chảy không đổi - $\frac{\partial u}{\partial x} = const$ và chảy không đều $\frac{\partial u}{\partial x} \neq const$).

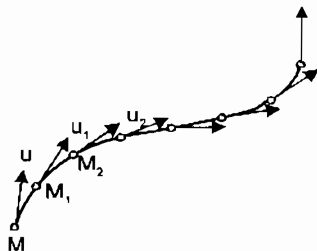
Theo điều kiện và nguyên nhân chảy người ta phân ra chảy có áp (chảy không có mặt thoáng) và chảy không có áp (chảy có mặt thoáng)

2. Đường dòng, dòng nguyên tố

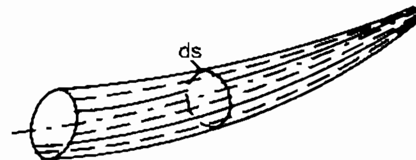
a) Trong một trường véc tơ vận tốc, ta có thể tìm được một đường cong sao cho nó tiếp tuyến với các véc tơ vận tốc qua các điểm của nó. Đường cong đó gọi là đường dòng (Hình 3-1).

Nếu gọi *dr* là một phân tố của đường dòng và *u* là véc tơ vận tốc tiếp tuyến với phân tố đó, ta có phương trình đường dòng:

$$\vec{u} \,//\, d\vec{r} \rightarrow \vec{u} \wedge d\vec{r} = 0 \rightarrow \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \qquad (3\text{-}1)$$



Hình 3-1. Sơ đồ xác định đường dòng nguyên tố



Hình 3-2. Sơ đồ ống dòng

**Chú ý*: - Tại mỗi điểm trong không gian, ở mỗi thời điểm chỉ đi qua một đường dòng, nghĩa là các đường dòng không cắt nhau.

- Cần phân biệt quỹ đạo với đường dòng: Quỹ đạo đặc trưng cho sự biến thiên vị trí của phần tử chất lỏng theo thời gian, còn đường dòng biểu diễn phương vận tốc của các phần tử chất lỏng tại thời điểm. Trong chuyển động dừng thì chúng trùng nhau.

b) Các đường dòng tựa lên một vòng kín vô cùng nhỏ ta được một ống dòng (Hình 3-2). Chất lỏng không thể xuyên qua ống dòng.

c) Dòng chất lỏng chảy đầy trong ống dòng gọi là dòng nguyên tố. Dòng nguyên tố có những đặc tính sau:

- Dạng của dòng nguyên tố không thay đổi theo thời gian vì dạng của đường dòng tạo thành dòng nguyên tố trong chuyển động dừng.

- Bề mặt của những dòng nguyên tố do những đường dòng tạo thành là không xuyên qua được. Những chất điểm của chất lỏng trong các dòng lân cận trượt theo bề mặt các dòng chứ không xuyên vào trong dòng được.

- Vì mặt cắt của dòng nguyên tố vô cùng nhỏ nên vận tốc của các điểm trong mặt cắt đều bằng nhau.

3. Các yếu tố thủy lực của dòng chảy

a) *Mặt cắt ướt ω* là mặt cắt vuông góc với véc tơ vận tốc của dòng chảy.

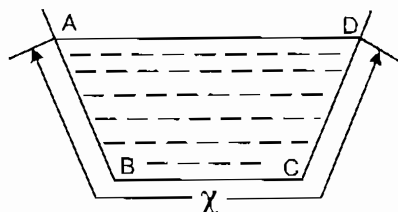
Chu vi ướt (χ) là phần chu vi của mặt cắt ướt tiếp xúc với thành rắn giới hạn dòng chảy (ví dụ cung ABC, hình 3-3)

Bán kính thủy lực (R) là tỷ số giữa diện tích mặt cắt ướt và chu vi ướt.

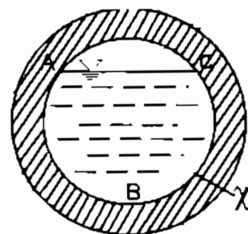
$$R = \frac{\omega}{\chi} \tag{3-2}$$

Lưu lượng (Q) là lượng chất lỏng chảy qua mặt cắt ướt trong một đơn vị thời gian:

$$Q = \int_{\omega} u d\omega \ \ (m^3/s) \tag{3-3}$$



Hình 3-3. Xác định chu vi ướt của mặt cắt kênh hình thang



Hình 3-4. Xác định chu vi ướt của ống trụ tròn

Như ta đã biết, các vận tốc điểm trên mặt cắt ướt của dòng chảy không bằng nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và giải quyết những vấn đề kỹ thuật, ta đưa vào khái niệm vận tốc trung bình mặt cắt v, tức là coi mọi điểm trên mặt cắt ước có vận tốc bằng nhau. Lưu lượng tính theo vận tốc trung bình mặt cắt v cũng bằng lưu lượng tính theo sự phân bố vận tốc thực của dòng chảy (Hình 3-4)

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = \int_{\omega} v d\omega = v \int_{\omega} d\omega = v\omega \qquad (3\text{-}4)$$

Suy ra vận tốc trung bình:

$$v = \frac{Q}{\omega} \qquad (3\text{-}5)$$

Như vậy, vận tốc trung bình của dòng chảy bằng lưu lượng chia cho mặt cắt ướt.

II. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC CỦA DÒNG CHẢY

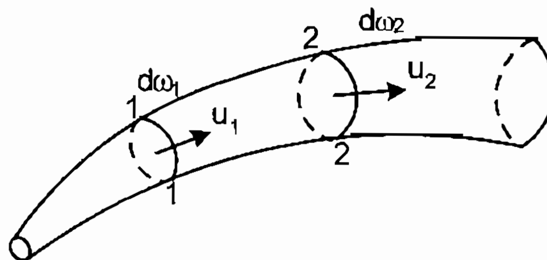
Đây là một dạng của định luật bảo toàn khối lượng: Khối lượng m của hệ cô lập không thay đổi trong suốt quá trình chuyển động:

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

1. Phương trình liên tục của dòng nguyên tố

Xét một dòng nguyên tố chuyển động dừng (Hình 3-5) xét đoạn giới hạn giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2.

Tại mặt cắt 1-1, có mặt cắt ướt $d\omega_1$, vận tốc u_1. Tại mặt cắt 2-2, có mặt cắt ướt $d\omega_2$, vận tốc u_2. Trong thời gian dt, thể tích chất lỏng chảy vào qua 1-1 là $u_1 d\omega_1 dt$, đồng thời thể tích chất lỏng chảy qua 2-2 là $u_2 d\omega_2 dt$.



Hình 3-5. Sơ đồ xác định phương trình liên tục của dòng nguyên tố

Theo tính chất của dòng nguyên tố trong chuyển động dừng: vì hình dạng của đoạn dòng nguyên tố không thay đổi theo thời gian, bề mặt của chất lỏng không xuyên qua được và chất lỏng không ép được nên trong thời gian dt, nên thể tích chất lỏng chảy qua mặt cắt 1-1 phải bằng thể tích chất lỏng chảy cùng thời gian ấy qua mặt cắt 2-2.

Vậy ta có: $u_1 d\omega_1 dt = u_2 d\omega_2 dt$

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 \qquad (3\text{-}6)$$

hay: $dQ_1 = dQ_2$ (3-7)

2. Phương trình liên tục của toàn dòng chảy

Muốn lập phương trình liên tục của toàn dòng chảy trong khoảng xác định ứng với mặt cắt ω ta mở rộng phương trình liên tục của dòng nguyên tố cho toàn dòng bằng cách tích phân phương trình đó trên toàn mặt cắt ω.

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2$$

Rút ra: $Q_1 = Q_2$ (3-8)

hay: $v_1\omega_1 = v_2\omega_2$ (3-9)

Đó là phương trình liên tục của dòng chảy ổn định có kích thước xác định.

Chú ý mặt cắt 2-2 ta chọn tuỳ ý trong dòng nguyên tố và trong toàn dòng, do đó có thể kết luận rằng:

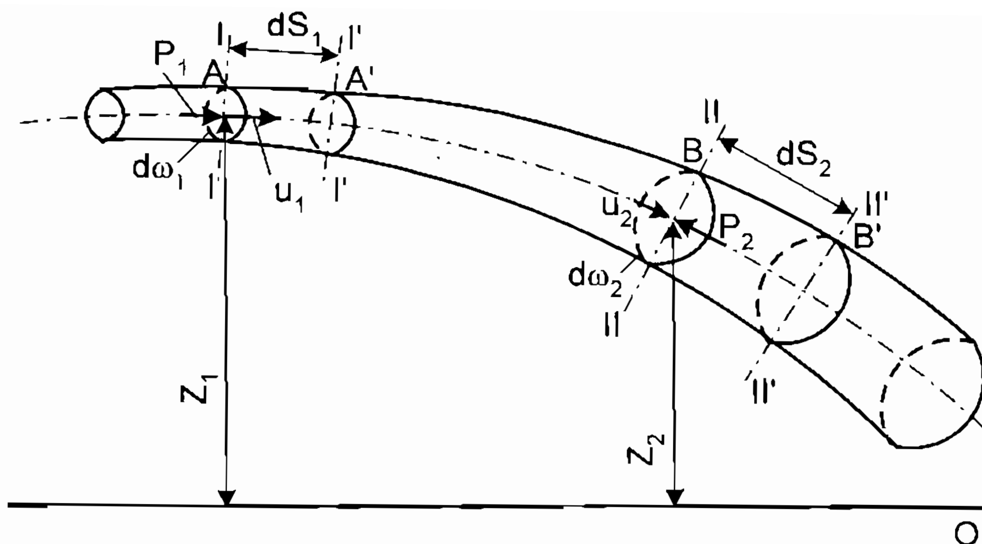
Trong dòng chảy ổn định, lưu lượng qua mọi mặt cắt ướt đều bằng nhau, và vận tốc trung bình v tỷ lệ nghịch với diện tích mặt cắt ướt.

III. PHƯƠNG TRÌNH BECNULI VIẾT CHO DÒNG NGUYÊN TỐ CHẤT LỎNG LÝ TƯỞNG

Năm 1738, Becnuli đã tìm ra phương trình nổi tiếng về quan hệ giữa vận tốc và động áp lực của dòng chảy bằng cách ứng dụng định luật động năng vào chuyển động của chất lỏng. Phương trình Becnuli còn được gọi là phương trình năng lượng vì nó là một dạng của định luật bảo toàn năng lượng.

1. Phương trình Becnuli viết cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng

Xét một đoạn dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng chuyển động ổn định giới hạn bởi mặt cắt I-I và II-II (Hình 3-6).



Hình 3-6. Sơ đồ xác định phương trình Becnuli cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng

Tại trọng tâm của I-I và II-II ta có:

Độ cao hình học Z_1 và Z_2; áp suất thuỷ động P_1 và P_2; vận tốc u_1 và u_2; diện tích mặt cắt $d\omega_1$ và $d\omega_2$.

Ta thấy rằng đoạn chất lỏng AB sau thời gian dt đã chuyển đến vị trí mới A'B'. Khi đó những chất điểm của chất lỏng từ mặt cắt I-I chuyển động với vận tốc u_1 đã dịch chuyển được một đoạn dS_1 đến mặt cắt I'-I'. Còn những chất điểm trong mặt cắt II-II chuyển động với vận tốc u_2 đã dịch chuyển được một đoạn dS_2 đến mặt cắt II'-II'.

Ta có: $dS_1 = u_1\, dt$ và $dS_2 = u_2\, dt$.

Theo phương trình liên tục của dòng nguyên tố ta viết được:

$d\omega_1 u_1 = d\omega_2 u_2 = dQ$

Theo định luật bảo toàn động năng: "Sự thay đổi động năng của khối lượng một vật chuyển động trong một khoảng thời gian nào đó bằng tổng số công của tất cả những lực tác dụng lên vật ấy cũng trong khoảng thời gian đó".

Ứng dụng định luật bảo toàn động năng vào chuyển động của đoạn chất lỏng AB. Trên hình 3-6 ta thấy khi đoạn chất lỏng chuyển động từ AB đến A'B', ta xem như phần đoạn A'B ở tại chỗ, còn thể tích chất lỏng AA' dịch

chuyển đến vị trí mới BB'. Do đó sự thay đổi động năng của tất cả đoạn AB sẽ bằng hiệu số động năng của thể tích BB' và AA'.

Ta có: $E_{KAA'} = \dfrac{mu_1^2}{2} = \dfrac{\rho d\omega_1 ds_1 u_1^2}{2}$.

$$E_{KBB'} = \frac{mu_2^2}{2} = \frac{\rho d\omega_2 ds_2 u_2^2}{2}$$

Thay $\rho = \gamma / g$,$ds_1 = u_1 dt$,$ds_2 = u_2 dt$ ta có:

$$E_{KAA'} = \frac{\gamma u_1^2 u_1 d\omega_1 dt}{2g} = \frac{\gamma u_1^2 dQdt}{2g}$$

$$E_{KBB'} = \frac{\gamma u_2^2 u_2 d\omega_2 dt}{2g} = \frac{\gamma u_2^2 dQdt}{2g}$$

Do đó sự thay đổi động năng sau thời gian dt của đoạn AB sẽ bằng:

$$\Delta E_K = E_{KBB'} - E_{KAA'} = \gamma\, dQ\left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g}\right)dt \qquad (3\text{-}10)$$

Công của các lực tác dụng lên khối chất lỏng AB gồm công của động áp lực và công của trọng lực.

Công của động áp lực là: $\Delta E_p = p_1 d\omega_1 ds_1 - p_2 d\omega_2 ds_2$

$$= (p_1 - p_2)\, dQ\, dt \qquad (3\text{-}11)$$

Còn công của trọng lực, theo cách phân tích hiện tượng đã nói trên, bằng công của trọng lượng chất lỏng $\gamma\, dQdt$ trong đoạn AA' đến BB' theo phương thẳng đứng từ Z_1 đến Z_2:

$$\Delta E_g = \gamma\, dQ\, (Z_1 - Z_2)\, dt \qquad (3\text{-}12)$$

Công của các lực khác vuông góc với trục chuyển động của ống dòng bằng O. Vậy:

$$\Delta E_K = \Delta E_p + \Delta E_g \qquad (3\text{-}13)$$

$$\gamma\, dQ\left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g}\right)dt = (p_1 - p_2)dQdt + \gamma\, dQ(Z_1 - Z_2)dt$$

rút gọn và xắp xếp lại:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

Vì các mặt cắt I-I và II-II ta chọn tuỳ ý nên có thể viết:

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = const \qquad (3\text{-}14)$$

Phương trình (3-14) là phương trình Becnuli cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng, chảy ổn định; xác định mối liên hệ giữa vận tốc, áp suất thuỷ động và độ cao hình học của chất điểm trong dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng.

2. Ý nghĩa hình học và năng lượng của phương trình Becnuli

a) Ý nghĩa thủy lực hay hình học

Để hiểu rõ ý nghĩa những thành phần của phương trình Becnuli ta quan sát hình 3-7 vẽ dòng nguyên tố chất lỏng chuyển động. Tại trọng tâm mặt cắt 1-1 và 2-2 ở độ cao Z_1 và Z_2 trên mặt chuẩn *0-0*, ta đặt các ống Pito kép để xác định độ cao đo áp và độ cao vận tốc:

Ta có:

Z- độ cao hình học;

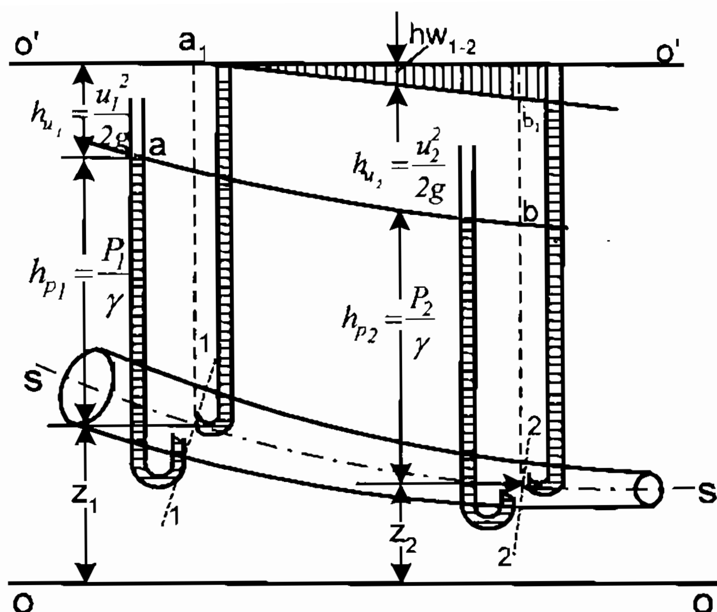
$\frac{p}{\gamma}$ - độ cao đo áp;

$\frac{u^2}{2g}$ - độ cao vận tốc;

Z, $\frac{p}{\gamma}$, $\frac{u^2}{2g}$ đều có thứ nguyên là độ dài;

$Z + \frac{p}{g} = H_t$ - cột áp tĩnh;

$Z + \frac{p}{g} + \frac{u^2}{2g} = H_d$ - cột áp thuỷ động.



Hình 3-7. Giải thích ý nghĩa hình học và năng lượng của phương trình Becnuli

Trong dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng chảy ổn định, cột áp thuỷ động là một hằng số:

$$H_d = Z + \frac{p}{g} + \frac{u^2}{2g} = Const$$

b) Ý nghĩa năng lượng

Trong thuỷ tĩnh học ta đã xét ý nghĩa năng lượng của hai số hạng Z và $\frac{p}{\gamma}$

Z - Là vị năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng so với mặt chuẩn, gọi tắt là vị năng đơn vị hay tỷ vị năng.

$\frac{p}{\gamma}$ - Là áp năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là áp năng đơn vị hay tỷ áp năng;

$Z + \frac{p}{\gamma}$ - Là thế năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là thế năng đơn vị hay tỷ thế năng;

$\frac{u^2}{2g}$ Là động năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là động năng đơn vị hay tỷ động năng;

$z+\frac{p}{\gamma}+\frac{u^2}{2g}$ Là năng lượng toàn phần của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là tỷ năng toàn phần.

Đường biểu diễn thế năng đơn vị ($z+\frac{p}{\gamma}$) của dòng chảy gọi là đường đo áp. (đường ab trong hình 3-7)

Đường biểu diễn năng lượng đơn vị ($Z+\frac{p}{\gamma}+\frac{u^2}{2g}$) của dòng chảy tức là cũng biểu diễn cột áp thuỷ động H_d gọi là đường năng (đường a_1b_1 hình 3-7)

IV. PHƯƠNG TRÌNH BECNULI ĐỐI VỚI DÒNG CHẤT LỎNG THỰC

1. Phương trình Becnuli đối với dòng nguyên tố chất lỏng thực

Ta biết rằng chất lỏng thực có tính nhớt do đó gây ra sức cản trong khi chuyển động và do đó có tổn thất một phần năng lượng của dòng nguyên tố, vì vậy năng lượng của một đơn vị trọng lượng của chất lỏng thực giảm dần theo chiều dài dòng chảy, nghĩa là $E_1 > E_2$.

hay: $$Z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{u_1^2}{2g} > Z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{u_2^2}{2g} \qquad (3\text{-}15)$$

Gọi h'_{w1-2} là tổn thất năng lượng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng khi chất lỏng di chuyển từ 1-1 đến 2-2 thì:

$$Z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{u_1^2}{2g} = Z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{u_2^2}{2g}+h'_{w1-2} \qquad (3\text{-}16)$$

Phương trình (3-15) là phương trình Becnuli viết cho dòng nguyên tố chất lỏng thực chuyển động ổn định.

Để đặc trưng cho điều kiện chảy của chất lỏng thực ta đưa ra những khái niệm về độ dốc hình học i, độ dốc đo áp I và độ dốc thủy lực J.

- Độ dốc hình học là độ hạ thấp đáy dòng chảy trên một đơn vị chiều dài, nghĩa là:

$$i = \frac{dZ}{dL} \approx \frac{Z_1 - Z_2}{L_{1-2}} = \sin\alpha \quad (3\text{-}17)$$

Trong đó α- Góc nghiêng của dòng chảy so với mặt phẳng nằm ngang.

- Độ dốc đo áp là độ hạ thấp của đường đo áp trên một đơn vị chiều dài của dòng chảy:

$$I = \frac{d\left(Z + \frac{p}{\gamma}\right)}{dL} = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)}{L_{1-2}} \quad (3\text{-}18)$$

- Độ dốc thủy lực là độ hạ thấp của đường năng trên một đơn vị chiều dài, hay nói cách khác là tổn thất năng lượng trên một đơn vị chiều dài dòng chảy:

$$J = \frac{dh_w}{dL} = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}\right)}{L_{1-2}} = \frac{h'_{w1-2}}{L_{1-2}} \quad (3\text{-}19)$$

**Nhận xét*:*

Độ dốc đo áp có thể có trị số âm hay trị số dương tuỳ theo sự thay đổi áp suất trong dòng chảy. Còn độ dốc thủy lực bao giờ cũng có trị số dương vì tổn thất năng lượng h'_w luôn tăng dọc dòng chảy.

Độ dốc đo áp trong dòng chảy chất lỏng thực khác độ dốc đo áp trong dòng chảy chất lỏng lý tưởng.

Trong trường hợp chuyển động đều, đường đo áp và đường năng song song do đó $I = J$.

Trường hợp dòng chảy đều trong kênh hở: $i = I = J$.

2. Phương trình Becnuli đối với toàn dòng chất lỏng thực

Bây giờ ta mở rộng phương trình Becnuli đối với dòng nguyên tố chất lỏng thực ra toàn dòng chất lỏng bằng cách cộng năng lượng của các dòng nguyên tố tạo thành dòng chảy và cộng tổn thất của những dòng ấy.

Nếu biểu thị trọng lượng chất lỏng của dòng nguyên tố chảy trong một đơn vị thời gian γdQ và nhân với cả hai vế của (3-15) ta có biểu thức năng lượng của dòng nguyên tố trong mặt cắt 1-1 và 2-2:

$$\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}\right)\gamma dQ = \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}\right)\gamma dQ + h'_{w1-2}\,\gamma dQ \quad (3\text{-}20)$$

Tích phân biểu thức trên theo mặt cắt toàn dòng chảy:

$$\int_{\omega 1}\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}\right)\gamma dQ = \int_{\omega 2}\left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}\right)\gamma dQ + \int_{\omega 2} h'_{w1-2}\,\gamma dQ \qquad (3\text{-}21)$$

Ta biết rằng áp suất thuỷ động trong dòng chảy đều và dòng biến đổi chậm phân bố theo quy luật thuỷ tĩnh $Z + \frac{p}{\gamma} = const$ trên một mặt cắt ướt.

Với điều kiện hạn chế trên ta viết được:

$$\int_{\omega 1}\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right)\gamma dQ = \gamma\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right)\int_{\omega 1} dQ = \gamma Q\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) \qquad (3\text{-}22)$$

$$\int_{\omega 2}\left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)\gamma dQ = \gamma\left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)\int_{\omega 2} dQ = \gamma Q\left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)$$

Các tích phân này biểu thị thế năng của lưu lượng γQ.

Tích phân $\int_{\omega 3} h'_{w1-2}\,\gamma\, dQ$ biểu thị tổng số các tổn thất năng lượng đơn vị của tất cả các dòng nguyên tố trong toàn dòng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2. Nếu gọi h_{w1-2} là tổn thất năng lượng đơn vị trung bình trên đoạn dòng chảy đó, ta có:

$$\int_{\omega 3} h'_{w1-2}\,\gamma\, dQ = \gamma Q h_{w1-2} \qquad (3\text{-}23)$$

Các tích phân có dạng $\int_{\omega}\frac{u^2}{2g}\gamma dQ$ biểu thị tổng số các động năng của các dòng nguyên tố, ký hiệu là E^u_{dn}:

$$E_{dn}^{u} = \int_{\omega}\frac{u^2}{2g}\gamma dQ = \frac{\gamma}{2g}\int_{\omega} u^2 dQ \qquad (3\text{-}24)$$

Việc tính tích phân này phức tạp vì chưa biết qui luật phân bố vận tốc u trong mặt cắt toàn dòng chảy. Để đơn giản ta thay vận tốc u của các dòng nguyên tố bằng vận tốc trung bình v của toàn dòng chảy. Ta có:

$$E_{dn}^{v} = \frac{\gamma}{2g}\int_{\omega} v^2 dQ = \gamma Q\frac{v^2}{2g} \qquad (3\text{-}25)$$

Vì sự phân bố của u khác sự phân bố của v nên $E^u_{dn} \neq E^v_{dn}$.

Để thay $\int_{\omega}\frac{u^2}{2g}\gamma dQ$ bằng sin ta đưa vào hệ số α là hệ số để hiệu chỉnh sự phân bố vận tốc không đều trong tính toán động năng (hệ số hiệu chỉnh động năng - hệ số Coriolis)

$$\alpha = \frac{E_{dn}^{u}}{E_{dn}^{v}} \qquad (3\text{-}26)$$

α = 1,01 ÷ 2 tuỳ theo chế độ chảy (tầng, rối) và hình dạng kích thước dòng chảy.

Thay (3-26) vào (3-25) ta có:

$$E_{dn}^{u} = \int_{\omega}\frac{u^2}{2g}\gamma dQ = \alpha\frac{v^2}{2g}\gamma Q \qquad (3\text{-}27)$$

Thay các trị số tính được ở (3-30), (3-31) và (3-25) vào (3-29) ta có:

$$\gamma Q\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}\gamma Q = \gamma Q\left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}\gamma Q + \gamma Q\, h_{w1-2}$$

Hay đơn giản cho γQ:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \qquad (3\text{-}28)$$

Phương trình (3-28) là phương trình Becnuli cho toàn dòng chất lỏng thực. Nó được dùng rộng rãi để giải các bài toán trong thủy lực và thuỷ khí động lực học.

Lưu ý: Việc mở rộng phương trình Becnuli không phải đối với loại dòng chảy nào cũng làm được. Ở trên ta đã tiến hành mở rộng được trong điều kiện dòng chảy đều và biến đổi chậm.

Trong trường hợp chuyển động tương đối hoặc chuyển động không dừng (chảy không ổn định) thì trường hợp tổng quát phương trình Becnuli viết cho toàn dòng chất lỏng thực, ngoài các số hạng của phương trình đã nêu trên còn phải kể thêm thành phần tổn thất cột áp quán tính.

V. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA PHƯƠNG TRÌNH BECNULI

Phương trình Becnuli được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật để giải quyết nhiều vấn đề trong thực tiễn. Một số chương tiếp theo của giáo trình có thể coi là những ứng dụng của phương trình Becnuli như: dòng

chảy qua lỗ, vòi, đập tràn, trong ống, trong kênh; trong hệ thống cung cấp nước, máy bơm...

Dưới đây chỉ nêu một số ứng dụng cụ thể của phương trình Becnuli.

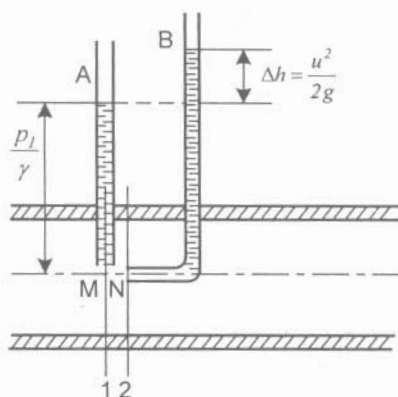
1. Dụng cụ đo vận tốc, ống Pito-Prandtl

Để đo vận tốc của một điểm trong dòng chảy ta cắm ống đo áp và ống Pito hình chữ *L* vào dòng chảy như hình vẽ (hình 3-8).

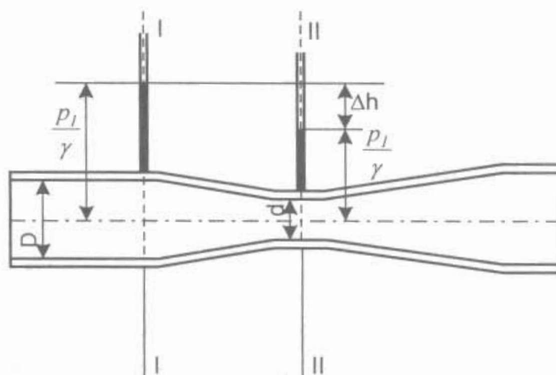
Ống đo áp cho giá trị $(Z + \frac{p}{\gamma})$ còn độ chênh $\Delta H = \frac{u^2}{2g}$

Suy ra $u = \sqrt{2g\Delta H}$

Kết hợp hai ống này được ống Pito-Prandtl (hay còn gọi là ống Pitokép)



Hình 3-8. Ống Pito-Prandtl



Hình 3-9. Lưu lượng kế Venturi

2. Lưu lượng kế Venturi

Là một dụng cụ dùng để đo lưu lượng dòng chảy trong ống, gồm một đoạn ống hình côn thu hẹp và một đoạn ống hình côn mở rộng ghép với nhau bằng một đoạn ống ngắn hình trụ. Đặt hai ống đo áp, một ở đầu ống hình côn (mặt cắt I-I) và một ở đoạn ống hình trụ (mặt cắt II-II) (hình 3-9).

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt I-I và II-II, mặt chuẩn trùng với trục ống, bỏ qua h_w ta có: $\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$

Ở đây hệ số động năng $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

Theo phương trình liên tục của dòng chảy, có thể viết:

$$v_2 = v_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} = v_1 \frac{D^2}{d^2}$$

Thay vào phương trình trên:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g}\left(\frac{D^4}{d^4} - 1\right)$$

hay $v_1 = \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}}.\sqrt{2g\frac{\Delta p}{\gamma}} = \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}}.\sqrt{2g\Delta h}$

$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \Delta h$ là độ chênh của hai độ cao đo áp, lưu lượng chất lỏng đi qua lưu lượng kế bằng:

$$Q = v_1\omega_1 = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}}.\sqrt{2g\Delta h} = K\sqrt{\Delta h} \qquad (3\text{-}28)$$

Dựa vào công thức (3-28) muốn xác định lưu lượng chảy qua lưu lượng kế chỉ cần đo độ chênh Δh là tính ra lưu lượng.

Đối với chất lỏng thực có tổn thất $h_{w1-2} = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$, ζ là hệ số tổn thất cục bộ khi đó: $Q = K_1\sqrt{\Delta h}$

Ở đây $K_1 = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{2gd^4}{\alpha_2 D^4 - \alpha_1 d^4 + \zeta d^4}}$

VI. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA DÒNG CHẢY ĐỀU

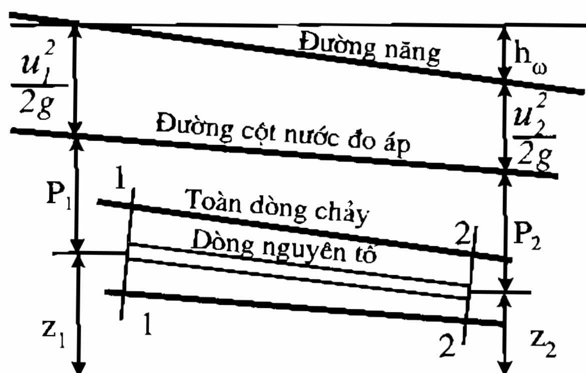
Chuyển động của chất lỏng trong những ống dẫn nước, xăng, dầu, hoá chất..., nước chảy trong kênh hở và nhiều trường hợp khác là chảy đều, dạng mà mặt cắt dòng chảy, vận tốc trung bình và độ sâu theo chiều dài dòng chảy là hằng số.

Ta tìm phương trình cơ bản của chảy đều để tính toán thủy lực những dòng chảy đó.

Khảo sát dòng chảy của chất lỏng có dạng bất kỳ, mặt cắt dòng chảy không đổi theo chiều dài, có diện tích ω và nghiêng với mặt phẳng nằm ngang một góc α (Hình 3-10). Xét đoạn ABCD, chiều dài L giới hạn bởi mặt cắt I-I và II-II.

Z_1, Z_2 - độ cao hình học của trọng tâm mặt cắt I-I và II-II so mặt chuẩn 0-0; p_1, p_2 - áp suất thuỷ động tác dụng tại trọng tâm mặt cắt I-I và II-II.

Ngoại lực tác dụng vào dòng chảy đều phải bằng lực cản gây nên trong khi chảy, hay nói cách khác tổng hình chiếu những ngoại lực tác dụng vào chất lỏng trong khi chảy trên một trục bất kỳ phải bằng tổng hình chiếu những lực cản trên trục ấy.



Hình 3-10. Sơ đồ mô tả phương trình cơ bản của dòng chảy đều

Lấy trục chiếu là trục dòng chảy s-s. Ngoại lực làm chất lỏng chuyển động là động áp lực P_1 và P_2 tác dụng lên mặt cắt I-I và II-II, trọng lực G và lực cản T là lực ma sát trên thành ống.

$$P_1 = p_1\omega_1 \text{ và } P_2 = p_2\omega_2$$

$$G = \gamma L\omega$$

$$T = L\chi\tau_0 \qquad (3\text{-}29)$$

Trong đó:

γ - trọng lượng riêng của chất lỏng;

x - chu vi ướt của dòng chảy;

τ_0 - lực ma sát riêng (lực ma sát trên thành tác dụng lên một đơn vị diện tích bề mặt ống).

Viết phương trình cân bằng lực tác dụng trên đoạn chất lỏng tương ứng với trục s-s của dòng chảy:

$$P_1 + P_2 + G\sin\alpha = T \qquad (3\text{-}30)$$

Thay những trị số các lực vào (3-30):

$$p_1\omega_1 - p_2\omega_2 + \frac{\gamma L\omega(z_1 - z_2)}{L} = \chi L\tau_0 \qquad (3\text{-}31)$$

Chia cả hai vế cho $\gamma\omega$ ta có:

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = \frac{\chi L\tau_0}{\gamma\omega} \qquad (3\text{-}32)$$

Vì động năng ở hai mặt cắt I-I và II-II giống nhau ($v_1 = v_2$) nên vế trái (3-32) là tổn thất năng lượng trên chiều dài đoạn chất lỏng giữa hai mặt cắt I-I và II-II. Vậy ta có thể viết:

$$E_1 - E_2 = h_{w1-2} = \frac{\chi L\tau_0}{\gamma\omega} \qquad (3\text{-}33)$$

Phương trình (3-33) là phương trình cơ bản của chảy đều, để xác định tổn thất năng lượng theo chiều dài dòng chảy có áp và không áp trong ống.

Như vậy, tổn thất năng lượng trong dòng chảy đều là tỷ lệ thuận với chiều dài dòng chảy, chu vi ướt, lực ma sát và tỷ lệ nghịch với trọng lượng riêng của chất lỏng, mặt cắt dòng chảy.

Thay $R = \dfrac{\omega}{\chi}$ (bán kính thủy lực) vào (3-33):

$$h_w = \frac{L\tau_0}{\gamma R} \qquad (3\text{-}34)$$

Chia (3-34) cho L, ta có:

$\dfrac{h_w}{L} = \dfrac{\tau_0}{\gamma R}$ vì $\dfrac{h_w}{L} = I$ là độ dốc thủy lực nên $I = \dfrac{\tau_0}{\gamma R}$: hay $\tau_0 = \gamma RI$

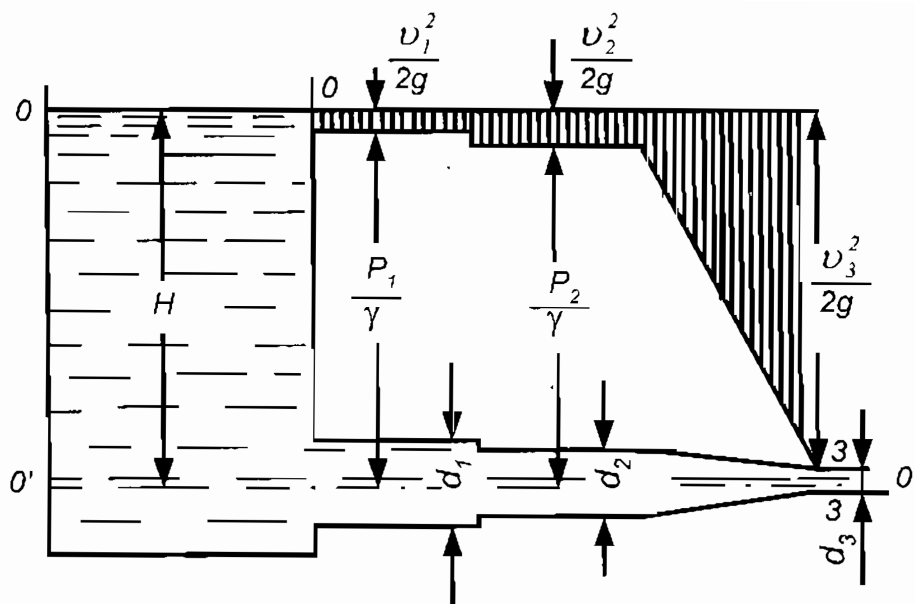
VII. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 3-1.

Nước từ bể chứa hở, chảy qua đường ống có các đường kính $d_1 = 50\ mm$, $d_2 = 40\ mm$, $d_3 = 25\ mm$ (hình vẽ).

Xác định cột nước cần thiết H để có lưu lượng Q = 10 m^3/h. Vẽ đường năng và đường đo áp.

Bỏ qua tổn thất năng lượng.



Giải:

Tính vận tốc trung bình của nước chảy ra khỏi ống ở mặt cắt 3-3:

$$v_3 = \frac{Q}{\omega_3} = \frac{Q}{\frac{\pi d_3^2}{4}} = \frac{10.4}{3600.3,14.0,025^2} = 5,65\ m/s$$

Cột nước cần thiết H, được xác định từ phương trình Becnuli, viết cho mặt cắt 0-0 và 3-3, lấy mặt chuẩn 0-0:

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + h_{w0-3}$$

Ta lấy $\alpha_0 = \alpha_3 = 1$, $v_0 \approx 0$, $p_0 = p_a$, và theo giả thiết $h_{w0-3} = 0$

Ta có:

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g}$$

Rút ra:

$$H = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{5,65^2}{2.9,81} = 1,63\ m$$

Để vẽ được đường đo áp, cần phải xác định vận tốc trung bình và cột nước vận tốc ở các đoạn ống 1 và 2:

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{10.4}{3600:3,14.0,05^2} = 1,42\ m/s$$

$$\text{và}\quad \frac{v_1^2}{2g} = \frac{1,42^2}{2.9,81} = 0,1\ m$$

$$v_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{10.4}{3600.3,14.0,04^2} = 2,21\ m/s$$

$$\text{và}\quad \frac{v_2^2}{2g} = \frac{2,21^2}{2.9,81} = 0,25\ m$$

Vì bỏ qua tổn thất năng lượng nên đường năng là một đường thẳng nằm ngang đi qua 0-0.

Độ cao đo áp ở bất kỳ mặt cắt nào cũng được xác định bằng hiệu số giữa đường năng và cột nước vận tốc ở mặt cắt đó:

$$\frac{p}{\gamma} = H_0 - \frac{v^2}{2g}$$

Nối tất cả độ cao đo áp ta được đường đo áp.

Ví dụ 3-2

Một ống hút của quạt gió hình trụ dùng để hút không khí ($\rho = 1,254\ kg/m^3$) từ khí quyển, được gắn vào đó ống đo áp, phần dưới của ống nhúng trong chậu nước ($\rho = 1000\ kg/m^3$). Mực nước dâng lên trong ống $h = 350\ mm$.

Hãy xác định lưu lượng của không khí, nếu ống hút có đường kính $D = 250mm$.

Giải:

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt 1-1 và 2-2, lấy mặt chuẩn 0-0:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

Trong đó: $z_1 = 0$; $p_1 = p_a$; $v_1 \approx 0$; $\alpha = 1$

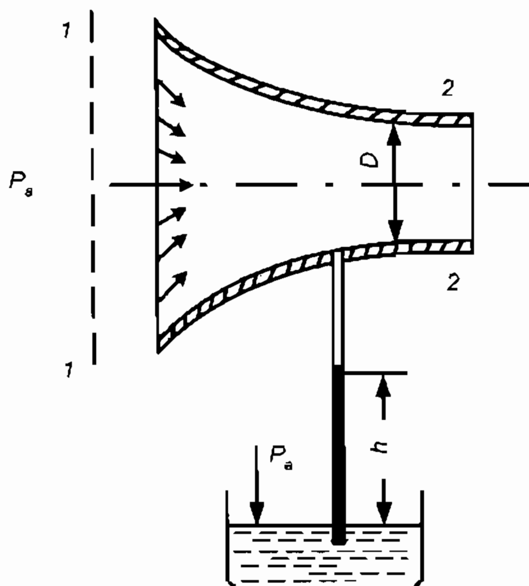
$h_{w1-2} \approx 0$ vì đoạn dòng chảy ngắn, không có chướng ngại vật;

p_2: áp suất tuyệt đối, tính được khi biết áp suất chân không:

$$h_{ck} = \frac{p_{ck}}{\gamma} = \frac{p_a - p_2}{\gamma}$$

Suy ra $p_2 = \frac{p_a}{\gamma} - h_{ck}$

Thay các giá trị trên vào phương trình:



$$\frac{p_a}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - h_{ck} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ta tính được: $\frac{v_2^2}{2g} = h_{ck}$

Nhưng ở đây yêu cầu tính lưu lượng không khí, vậy vận tốc cũng phải tính cho không khí và độ cao chân không h_{ck} cũng phải đổi thành độ cao của một cột không khí gây ra áp suất tương đương với cột nước h_{ck}.

Ta có: $h_{ck}.\ \gamma_{ck} = h_{kk}.\ \gamma_{kk}$

Hay: $h_{kk} = h_{ck}\frac{\gamma_n}{\gamma_{kk}}$ =0,25 .$\frac{1000.9,81}{1,29.9,81}$ = 194m

Vậy: $v_2 = \sqrt{2gh_{kk}} = \sqrt{19,62.194} = 61,6$ m/s

$$Q = \omega_2 v_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}.v_2 = \frac{3,14.0,30^2}{4}.61,6 = 4,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lưu lượng không khí do quạt gió cung cấp là $4,35\ m^3/s$.

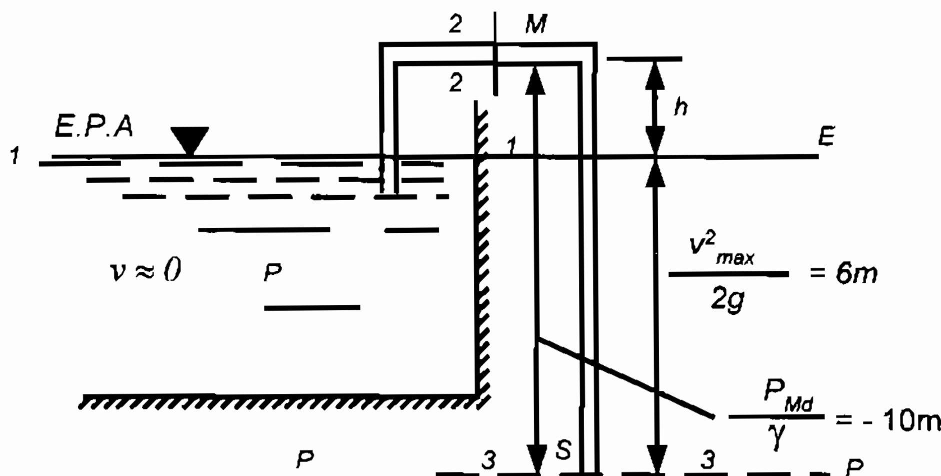
Ví dụ 3-3

Một ống xiphông có đường kính $d = 100\ mm$ được dùng để tháo nước từ bể chứa hở vào không khí. Đỉnh xiphông cao hơn mực nước trong bể $h = 4\ m$ (hình vẽ). Cho biết $p_a = 10^5\ Pa;\ g = 10\ m^2/s$. Bỏ qua qua tổn thất năng lượng.

1- Nếu áp suất tuyệt đối trong ống được xem là bằng không ($p_{min} = 0$), tính lưu lượng tháo lớn nhất.

2- Lúc đó miệng ra của ống xi phông phải ở độ cao nào?

3- Vẽ đường năng, đường đo áp.



Giải:

1- Tại đỉnh xi phông áp suất là nhỏ nhất. Áp dụng phương trình Becnuli cho 2 mặt cắt (1-1) và (2-2) ta có:

$$z_1 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Trong đó: p1 = pa là áp suất tuyệt đối tại (1-1);

P2 - áp suất tuyệt đối tại mặt cắt (2-2) đã được giả thiết bằng không nên ta có:

$$v = \sqrt{2g\left(z_1 - z_2 + \frac{p_a}{\gamma}\right)} = \sqrt{2g\left(-h + \frac{p_a}{\gamma}\right)} =$$

$$= \sqrt{2{,}10\left(-4 + \frac{10^5}{10^3.10}\right)} = \sqrt{120} = 10{,}95\, m/s$$

$$Q = v.\omega = v.\frac{\pi d^2}{4} = 10{,}95.\frac{3{,}14.0{,}10^2}{4} = 0{,}086\, m^3/s = 86\, l/s$$

2- Để xác định độ cao miệng ra của ống xi phông khi $Q = Q_{max} = 86\ l/s$, viết phương trình Becnuli cho mặt cắt (1-1) và (3-3) lấy áp suất dư $p_1 = p_3 = 0$

$$z_1 + 0 + 0 = z_2 + 0 + \frac{v^2}{2g}$$

Từ đó $z_3 - z_1 = -\frac{v^2}{2g} = -\frac{120}{2.10} = -6\, m$

Vậy miệng ra của xiphông nằm thấp hơn mặt nước trong bể *6 m*.

3- Đường năng *E-E* và đường đo áp *P-P* được thể hiện trên hình vẽ.

Ví dụ 3-4

Hãy xác định nước dâng lên ở độ cao nào trong ống, nếu một đầu của ống được nối với mặt cắt thu hẹp của ống dẫn, còn đầu kia được thả vào nước. Lưu lượng ở trong ống $Q = 0{,}025\ m/s$; áp suất dư $p_1 = 49.\ 10^3 Pa$, các đường kính $d_1 = 100\ mm$ *và* $d_2 = 50\ mm$ (Hình vẽ).

Giải:

Viết phương trình Becnuli đối mặt cắt (1-1) và (2-2), mặt chuẩn đi qua trục ống (bỏ qua tổn thất), lấy $\alpha_1 = \alpha_2$ có dạng:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

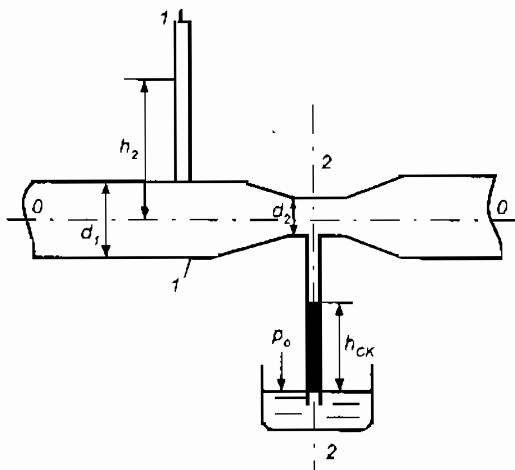
Vì $v_1 = \frac{4Q}{4d_1^2}$ và $v_2 = \frac{4Q}{4d_2^2}$

Sau khi biến đổi ta có:

$$\frac{p_2}{\rho g} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{4^2 Q^2}{2g\pi^2}\left(\frac{1}{d_1^4} + \frac{1}{d_2^4}\right) =$$

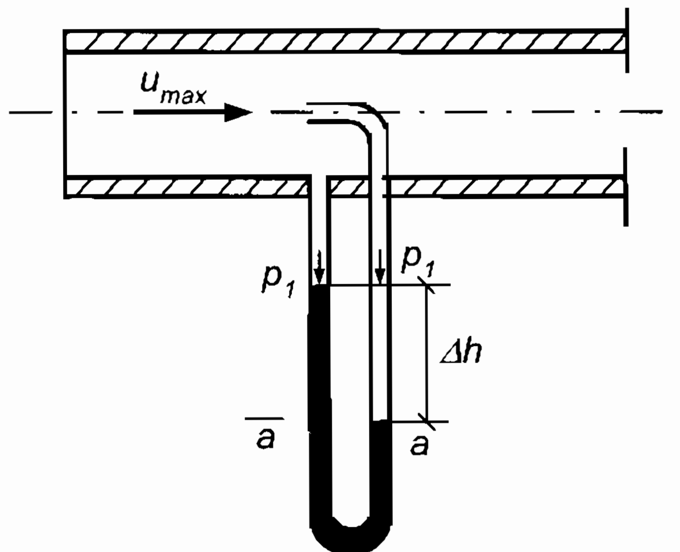
$$= \frac{49.10^3}{1000.9,81} + \frac{16.0,025^2}{2.9,81.314^2}\left(\frac{1}{0,1^4} + \frac{1}{0,05^4}\right) = -\,2,7\text{m}$$

Ta được chiều cao với dấu âm và chính là chiều cao chân không. Nước trong ống sẽ dâng lên chiều cao $h_{ck} = 2,7\ m$.



Ví dụ 3-5

Trên trục ống dẫn nước người ta đặt một ống Pitô với vi áp kế thủy ngân. Xác định vận tốc nước chảy trong ống u_{max} nếu hiệu số mực thủy ngân trong áp kế $\Delta h = 18mm$ (hình vẽ).



Giải:

Ống Pitô đo cột nước vận tốc:

$$H = \frac{u_{max}}{2g} \qquad (1)$$

Hệ số kiểm định φ giả thiết bằng 1.

Để xác định H ta viết phương trình cân bằng trong áp kế thủy ngân đối với mặt phẳng a-a (hình vẽ):

$$p_1 + \Delta h.p_m.g = p_2 + \Delta h.p.g \qquad (2)$$

Trong đó p_1 và p_2 - áp suất trong các ống áp kế thuỷ ngân ở độ cao ứng với mực thủy ngân cao;

ρ và ρ_m - mật độ của nước ($1000 kg/m^3$) và thuỷ ngân ($13.600 kg/m^3$)

Do đó:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{pg} = \Delta h\left(\frac{p_m}{p} - 1\right) \qquad (3)$$

Thay số vào công thức (2) ta được:

$$H = 0,018\left(\frac{13600}{1000} - 1\right) = 0.227\, m$$

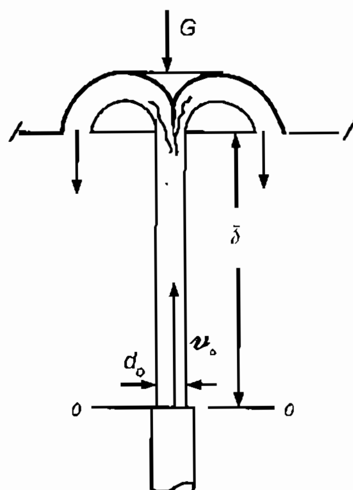
Từ công thức (1) ta có vận tốc cực đại trong ống:

$$u_{max} = \sqrt{2gH} = \sqrt{2.9,81.0,227} = 2,1\frac{m}{s}.$$

Bài tập 3-1

Tia chất lỏng phun lên theo phương thẳng đứng từ ống có đường kính d_0 với vận tốc v_0 và gặp phải vật cản trên đường đi có dạng hai nửa quả cầu (hình vẽ). Biết trọng lượng vật cản là G, trọng lượng riêng chất lỏng γ, xác định độ cao z mà vật được nâng lên so với miệng ống (theo v_o).

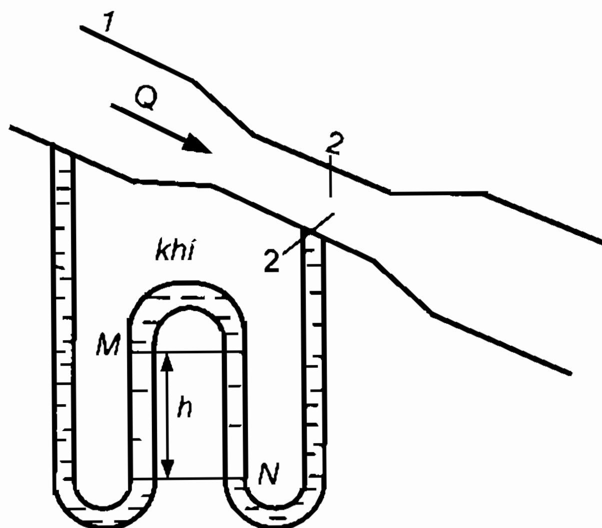
Đáp số: $z = \frac{v_0^2}{2g} - \left(\frac{G}{\pi d_0^2 \gamma}\right)^2 . \frac{2g}{v_0^2}$



Bài tập 3-2

Một ống Venturi để đo lưu lượng gồm hai đoạn ống ngắn có đường kính khác nhau $d_1 = 300\ mm$ và $d_2 = 150\ mm$. Hai đoạn ống được nối vào một áp kế. Cho biết độ chênh trong ống đo áp $h = 100\ mm$.

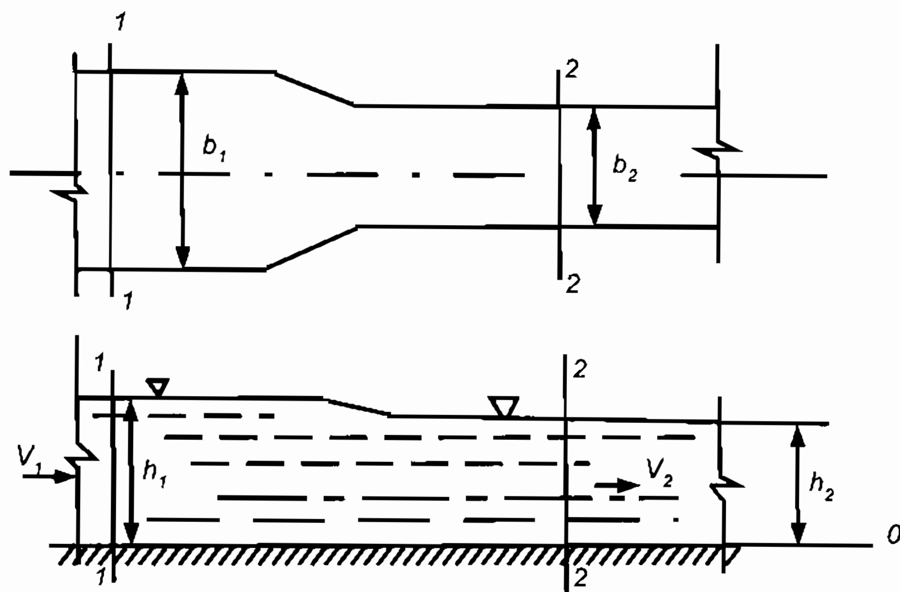
Lập biểu thức tính lưu lượng Q chảy trong ống theo độ chênh h và tính Q nếu chất lỏng chảy trong ống là nước.



Đáp số: $Q = \mu K\sqrt{2gh}$

Bài tập 3-3

Một kênh có mặt cắt hình chữ nhật $b_1 = 12\ m$; $h_1 = 3\ m$, đáy nằm ngang. Trên kênh có một đoạn thu hẹp với chiều rộng $b_2 = 8\ m$. Bỏ qua tổn thất cột nước, tính độ sâu và vận tốc tại phần co hẹp của kênh (h_2, v_2). Cho biết vận tốc nước chảy trong đoạn kênh không thu hẹp $v_1 = 0,5\ m/s$ (Hình vẽ).



Đáp số: $h_2 = 3\ m$; $v_2 = 0,75\ m/s$

Chương 4

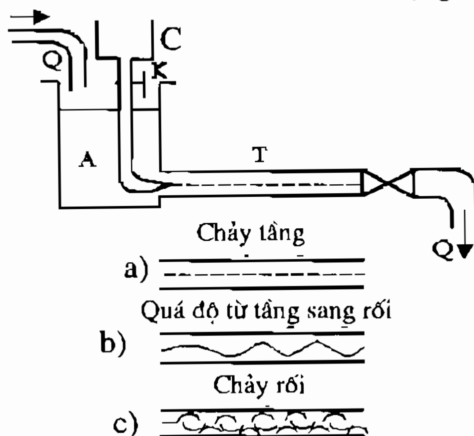
TRẠNG THÁI CHẢY CƠ BẢN CỦA CHẤT LỎNG THỰC VÀ TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG

I. HAI TRẠNG THÁI CHẢY CỦA CHẤT LỎNG. SỐ RÂYNÔN

1. Thí nghiệm Râynôn

Năm 1883 O. Reynolds bằng thực nghiệm đã phát hiện ra sự tồn tại hai trạng thái chảy khác biệt nhau của chất lỏng và chứng minh rằng chúng có liên quan mật thiết với tổn thất năng lượng của nó.

Thí nghiệm của Reynolds gồm có một bình nước lớn A, một bình nước màu C, một ống thuỷ tinh trong suốt T (Hình 4-1). Điều chỉnh khoá để K nước màu đỏ chảy thành một sợi chỉ đỏ căng xuyên suốt ống thủy tinh, nghĩa là các lớp chất lỏng chảy thành tầng riêng rẽ, đó là trạng thái chảy tầng(Hình 4-1a). Tăng vận tốc dòng chảy, đầu tiên sợi chỉ nước màu đỏ bị đứt đoạn (Hình 4-1b)- chảy quá độ, sau đó chúng hoà trộn hỗn loạn vào nhau (Hình 4-1c), đó là trạng thái chảy rối.



Hình 4-1. Sơ đồ thí nghiệm Râynôn

Làm thí nghiệm ngược lại, giảm dần vận tốc dòng chảy thì trạng thái chảy của chất lỏng biến đổi theo chiều ngược lại: từ chảy rối sang chảy tầng.

Qua thí nghiệm với nhiều ống có đường kính khác nhau và với nhiều loại chất lỏng, người ta nhận thấy trạng thái dòng chảy phụ thuộc vào vận tốc V, độ nhớt υ và đường kính ống d.

2. Số Râynôn và vận tốc phân giới

Reynolds đã tìm ra tổ hợp 3 đại lượng (vận tốc V, độ nhớt υ và đường kính ống d) là một số không thứ nguyên, mang tên ông - số Reynolds:

$$Re = \frac{vd}{\upsilon} \qquad (4\text{-}1)$$

Vận tốc chuyển từ trạng thái chảy tầng sang chảy rối là vận tốc phân giới trên (v_{pgt}), tương ứng có số Reynolds phân giới trên (Re_{pgt}).

Vận tốc chuyển từ trạng thái chảy rối sang chảy tầng là vận tốc phân giới dưới (v_{pgd}), tương ứng có số Reynolds phân giới dưới (Re_{pgd})

Khi dòng chảy có: $Re < Re_{pgd}$ thì trạng thái của nó là chảy tầng;

$Re > Re_{pgt}$ thì trạng thái của nó là chảy rối;

$Re_{pgd} < Re < Re_{pgt}$ thì trạng thái của nó có thể là tầng hoặc rối, nhưng thường là chảy rối, vì ứng với giai đoạn trung gian này trạng thái chảy tầng rất không ổn định.

Qua nhiều thí nghiệm thấy rằng Re_{pgt} không có một trị số xác định (dao động từ 12000 đến 50000). Còn Re_{pgd} đối với mọi loại chất lỏng và đường kính khác nhau đều có một giá trị không đổi (2320).

Do đó $Re_{pgd} = 2320$ được dùng làm tiêu chuẩn xác định trạng thái chảy.

vậy $Re < 2320$ - Trạng thái chảy tầng;

$Re > 2320$ - Trạng thái chảy rối.

II. TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG

1. Quy luật tổn thất năng lượng trong dòng chảy

a) Phân loại tổn thất

Khi chất lỏng thực chảy có tổn thất năng lượng do lực cản chuyển động. Căn cứ vào nguyên nhân phát sinh tổn thất năng lượng trong dòng chảy, người ta chia ra:

- Tổn thất dọc đường (h_{wd});

- Tổn thất cục bộ(h_{wc}).

Tổn thất năng lượng dọc đường là do lực cản tác dụng lên dòng chất lỏng do lực ma sát trong của chất lỏng gây nên, hay là do lực cản theo chiều dài của bề mặt bao quanh dòng chảy (bề mặt trong ống dẫn, bề mặt đáy, sườn kênh...).

Tổn thất năng lượng cục bộ là do lực cản gây nên khi thay đổi đột ngột mặt cắt dòng chảy hay thay đổi đột ngột chiều dòng chảy như ở trong khoá nước ở các chỗ ngoặt ...

b) Qui luật chung về tổn thất năng lượng

Bằng thực nghiệm người ta đã đưa ra qui luật phân bố tổn thất năng lượng dọc đường trong dòng chảy:

- Khu vực chảy tầng: $h_{wd} = k_1 v$

- Khu vực chảy rối: $h_{wd} = k_2 v^2$

Trong đó: k_1 , k_2 - hệ số tỷ lệ; v - vận tốc dòng chảy.

- Trong khu vực quá độ, liên hệ giữa vận tốc và tổn thất năng lượng theo quan hệ bậc n với $1 < n < 2$.

2. Tổn thất năng lượng dọc đường

a) Tổn thất năng lượng dọc đường trong chảy tầng

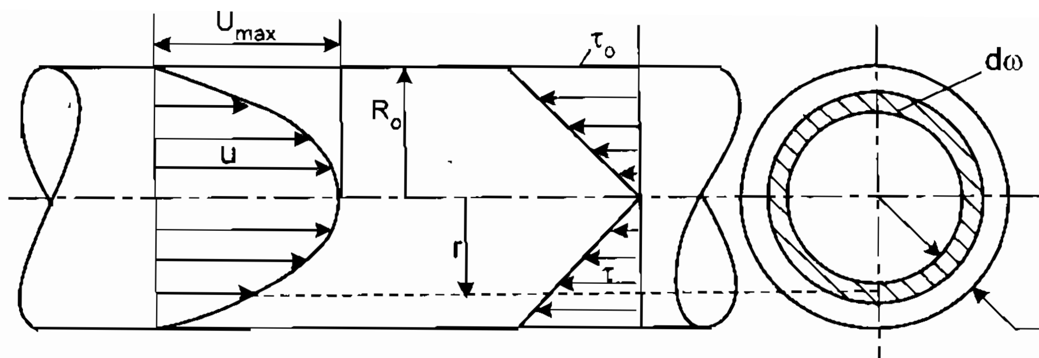
Trong chảy tầng, chất lỏng chảy thành những bó dòng riêng biệt song song với nhau. Trên thành ống, có dính chặt những chất điểm không chuyển động, vận tốc của chúng bằng không. Tổn thất năng lượng trong chảy tầng do tác dụng của lực ma sát là tỷ lệ bậc nhất với vận tốc.

Nghiên cứu sự phân bố vận tốc, lực ma sát riêng và tổn thất năng lượng của chảy tầng trong ống tròn nằm ngang (Hình 4-2).

Tổn thất năng lượng trong ống:

$$h_{W\,1-2} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{L\tau}{\gamma R}$$ (theo phương trình cơ bản của chảy đều)

mà $\tau = -\mu \dfrac{du}{dr}$ (r tăng u giảm) do đó:



Hình 4-2. Phân bố vận tốc, ứng suất của chảy tầng trong ống tròn

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = -2\frac{\mu}{\gamma}\frac{du}{dr}\frac{L}{r}$$

Thay R = r/2 ta có:

$$du = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu L} rdr \qquad (4\text{-}2)$$

Tích phân (4-2) từ r đến R_0 ta có;

$$\int_{U_r}^{U_{R0}} du = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu L} \int_r^{R0} rdr$$

$$u_{R0} - u_r = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu L}\left(R_0^2 - r^2\right)$$

Như đã biết ở trên, $u_{R0} = 0$. Vậy đối với bất kỳ điểm nào trong mặt cắt dòng chảy ở khoảng cách *r* đối với trục ống có vận tốc:

$$u_r = \frac{\Delta p}{4\mu l}\left(R_o^2 - r^2\right) \qquad (4\text{-}3)$$

Vận tốc cực đại khi r = 0:

$$u_{max} = \frac{\Delta p}{4\mu l} R_o^2$$

Ta tính được lưu lượng: $Q = \int_0^{R_o} dQ = \int_0^{R_o} 2\pi r\, dr = \frac{\pi}{2} R_o^2 u_{max}$

Vận tốc trung bình: $v = \frac{Q}{\omega} = \frac{u_{max}}{2}$

Tổn thất năng lượng (độ chênh áp):

$$h_{W\,1-2} = \frac{\Delta p}{\gamma} = 32\frac{\mu L v}{\gamma d^2} \qquad (4\text{-}4)$$

Ở đây d = 2r. Nhân trên và dưới với 2u và thay γ = ρg, ta có:

$$h_{W\,1-2} = \frac{64\mu L v^2}{ud\rho d 2g}$$

Đặt $\frac{\mu}{\rho} = \nu$ và $\frac{\nu}{ud} = \frac{1}{Re}$ thì công thức tổn thất năng lượng trong chảy tầng sẽ là:

$$h_{W\,1-2} = \frac{64}{Re}\frac{L}{d}\frac{v^2}{2g} \qquad (4\text{-}5)$$

Đặt $\frac{64}{Re} = \lambda$, ta sẽ có:

$$h_{W\,1-2} = \lambda\frac{L}{d}\frac{v^2}{2g} \qquad (4\text{-}6)$$

trong đo λ - hệ số cản dọc đường.

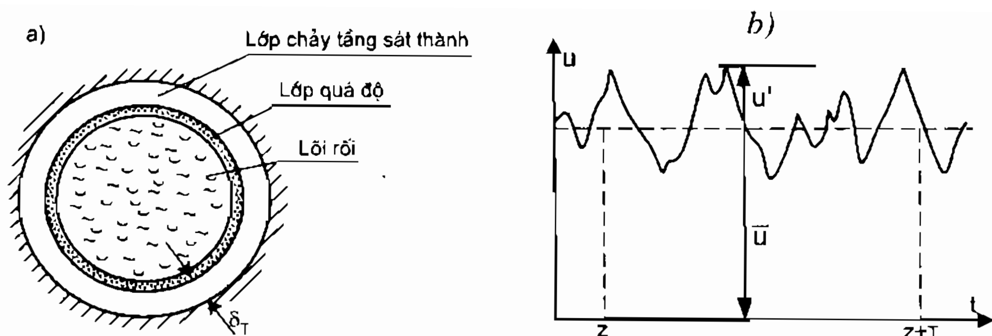
Công thức (4-6) gọi là công thức Darcy (do Darcy thiết lập năm 1856)

b) Tổn thất năng lượng dọc đường trong chảy rối

Trong cấu trúc của dòng chảy rối trong ống gồm 2 phần chính (hình 4-3a): lõi rối và lớp chảy tầng sát thành có chiều dày δ_T:

$$\delta_T = \frac{30d}{Re\sqrt{\lambda}}$$

Trong lõi rối, vận tốc điểm thay đổi về trị số và cả hướng theo thời gian. Nếu xét trong một khoảng thời gian tương đối dài *T*, thì thấy *u* dao động xung quanh một trị số không đổi $\overline{u}$ (hình 4-3b) gọi là vận tốc trung bình thời gian $\overline{u}$:



Hình 4-3. a) Mặt cắt ngang dòng chảy rối trong ống tròn
b) Phân bố vận tốc mạch động trong chảy rối

$$\bar{u} = \frac{1}{T}\int_{o}^{t_o} u dt$$

Lúc đó vận tốc tức thời $u = \bar{u} + u'$, u' - vận tốc mạch động.

Trong thực tế để xác định tổn thất năng lượng dọc đường trong chảy rối, ta dùng phương pháp gần đúng với những giả định sau:

+ Liên hệ bình phương giữa tổn thất năng lượng và vận tốc;

+ Có quan hệ giữa độ nhám của thành với tổn thất năng lượng;

+ Coi trạng thái chảy rối với giả định những dòng nguyên tố song song.

Theo quan niệm trên ta coi sức cản của dòng chảy là gồm có sức cản gây nên từ bên trong chất lỏng tiếp xúc với thành dòng chảy. Vậy biểu thức cho lực ma sát riêng trên thành có thể xác định theo công thức:

$$\tau_0 = bv^2$$

Trong đó: b - hệ số được xác định bằng thực nghiệm (phụ thuộc độ nhám của thành và dạng của dòng chảy).

Mặt khác, từ phương trình cơ bản của chảy đều: $\tau_0 = \gamma RI$

Vậy ta có: $bv^2 = \gamma RI$

Hay $v = \sqrt{\frac{\gamma}{b}}\sqrt{RI}$

Thay $I = \frac{h_w}{L}$ và đặt $\sqrt{\frac{\gamma}{b}} = c$ ta có biểu thức tính vận tốc trung bình trong chảy đều:

$$v = C\sqrt{RI} \tag{4-7}$$

Công thức (4-7) gọi là công thức Xêzi, dùng để xác định vận tốc trung bình trong chảy đều của chất lỏng trong ống, trong kênh và trong thiên nhiên.

Hệ số Cphụ thuộc hệ số nhám n và bán kính thủy lực R, phần lớn được xác định bằng công thức thực nghiệm (xem phụ lục 2,3,4).

Thay $I = \frac{h_W}{L}$ vào (4-7) ta có:

$$v = C\sqrt{R\frac{h_W}{L}}$$

Do đó:

$$h_W = \frac{Lv^2}{C^2R} = \frac{4Lv^2}{C^2d} \tag{4-8}$$

Nhân trên và dưới với 2g:

$$h_W = \frac{8gLv^2}{C^2d2g} = \lambda\frac{L}{d}\frac{v^2}{2g} \tag{4-9}$$

Ở đây $\lambda = \frac{8g}{C}$ gọi là hệ số cản dọc đường.

3. Tổn thất năng lượng cục bộ

Tổn thất năng lượng cục bộ sinh ra khi thay đổi đột ngột mặt cắt, hay hình dạng dòng chảy (trị số, phương, chiều của vận tốc). Ở chỗ có sức cản cục bộ có thể quan sát thấy hiện tượng va đập và chảy xoáy. Sự tương tác giữa dòng chảy và các chất điểm chảy xoáy. Đó là nguyên nhân phát sinh ra tổn thất năng lượng cục bộ.

Nhiều thực nghiệm đã chứng minh rằng tổn thất cục bộ cũng tuân theo các qui luật phân bố như đối với tổn thất dọc đường.

Thường dùng công thức Weisbach để tính tổn thất cục bộ:

$$h_{wc} = \zeta\frac{v^2}{2g} \tag{4-10}$$

Trong đó:

v - vận tốc trung bình dòng chảy thường lấy ở sau chỗ có sức cản cục bộ.

ζ - hệ số tổn thất cục bộ thường được xác định bằng thực nghiệm (xem phụ lục 1).

Thực nghiệm cho biết tổn thất cục bộ khi chảy rối tỷ lệ với bình phương của vận tốc, lúc đó hệ số ζ không phụ thuộc vào số *Re*; khi chảy tầng ζ phụ thuộc vào số *Re*. Mức độ phụ thuộc ấy tuỳ theo mức độ dòng chảy tầng bị phá hoại khi có sức cản cục bộ, có thể sử dụng công thức Antosul để tính ζ trong dòng chảy tầng:

$$\zeta = \frac{A}{\mathrm{Re}} + \zeta r \qquad (4\text{-}11)$$

Trong đó: ζr - hệ số tổn thất cục bộ trong khu vực bình phương sức cản.

Giá trị của *A* và ζr cho trong bảng 4 - 1.

Bảng 4-1

Loại vật cản	***A***	ζr
Khoá hình nêm	150	0,40
Van thông dụng	3000	4,00
Van nghiêng	900	2,50
Van bi	5000	4,50
Ống ngoặt 90°	400	1,40
Chạc ba	150	0,30

Trong trường hợp tổng quát, tổn thất năng lượng giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2 của đường ống là bằng tổng số các tổn thất dọc đường và tổng số các tổn thất cục bộ:

$$h_{w1-2} = \sum_{i=1}^{K} h_{wd} + \sum_{i=1}^{n} h_{wc}$$

hay
$$h_{w1-2} = \sum_{i=1}^{K} \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \frac{v_i^2}{2g} + \sum_{i=1}^{n} \zeta_i \frac{v_i^2}{2g}$$

$\sum_{i=1}^{K}\frac{\lambda_i l_i}{d_i}\frac{v_i^2}{2g}$ là tổn thất dọc đường của k đoạn ống;

$\sum_{i=1}^{n}\zeta_i\frac{v_i^2}{2g}$ là tổn thất cục bộ của n chỗ gây ra sức cản cục bộ.

III. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 4-1

Đường ống trong cấp và thoát nước có đường kính bé nhất d_{min} = 3500 mm. Vận tốc tính toán của nước trong đường ống là v = 0,5 ÷ 4 m/s.

Xác định số Râynôn lớn nhất và bé nhất và trạng thái chảy của nước trong các ống này.

Giải:

Nhiệt độ của nước trong các hệ thống cấp và thoát nước có thể thay đổi từ 00 đến 300, còn độ nhớt động học $\nu_0 = 1,78.\ 10^{-6}$ m²/s và $\nu_{30} = 0,81.\ 10^{-6}$ m²/s.

Số Râynôn bé nhất ứng với d_{min} = 3500 mm; v_{min} = 0,5 m/s và $\nu_0 = 1,78.\ 10^{-6}$ m²/s, ta có:

$$Re_{min} = \frac{0,5.0,012}{1,78.10^{-6}} = 3370$$

Tương tự: $$Re_{max} = \frac{4.3,5}{0,81.10^{-6}} = 17260000$$

Ngay cả số Râynôn Re_{min} cũng lớn hơn số Râynôn phân giới dưới Re_{fgd} = *2320*, vì vậy trong các đường ống cấp thoát nước, trạng thái chảy luôn luôn là chảy rối.

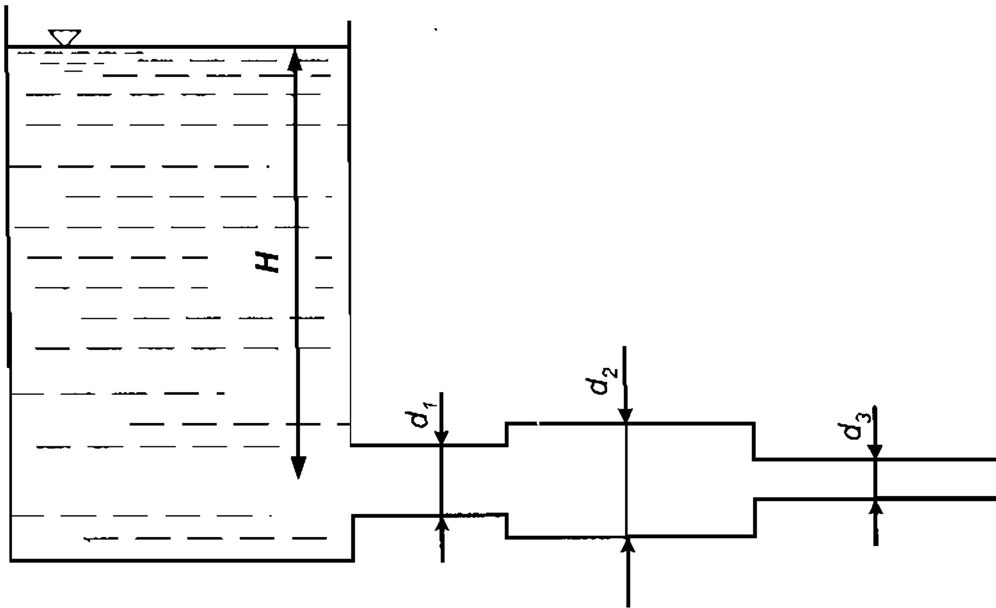
Ví dụ 4-2

Nước chảy từ bình chứa qua một đường ống đặt nằm ngang có tiết diện thay đổi nối tiếp nhau $d_1 = 75\ mm$; $d_2 = 100\ mm$; $d_3 = 50\ mm$. Độ cao cột nước trong bình chứa kể từ trục ống là $H = 1\ m$. Giả thiết chỉ tính tổn thất cục bộ dòng chảy dừng.

a) Tính lưu lượng chảy qua ống;

b) Vẽ đường năng, đường đo áp;

c) Nếu bỏ qua đoạn ống thứ 3 thì đường năng và đường đo áp có gì thay đổi?



Giải:

Chọn mặt cắt đi qua trục ống (I-I) làm mặt chuẩn, viết phương trình Becnuli cho 2 mặt cắt (0-0) và (3-3), sau khi đơn giản và thay $z_0 = H$ ta có:

$$H = \frac{v_3^2}{2g} + h_w$$

Trong đó: $h_w = h_{c1} + h_{c2} + h_{c3}$

$$h_{c1} = 0,5\frac{v_1^2}{2g} = \frac{4Q^2}{g\pi^2 d_1^4}$$

$$h_{c2} = \zeta_2 \frac{v_1^2}{2g} = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 \frac{8Q^2}{g\pi^2 d_1^4}$$

$$h_{c3} = \zeta_3 \frac{v_3^2}{2g} = 0,5.\left(1 - \frac{d_3^2}{d_2^2}\right)^2 \frac{8Q^2}{g\pi^2 d_3^4}$$

Từ đó suy ra:

$$H = \frac{v_3^2}{2g} + h_{c1} + h_{c2} + h_{c3} =$$

$$= \frac{16Q^2}{2g}\left\{\left[0,5 + \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2\right]\cdot\frac{1}{\pi^2 d_1^4} + \left[1 + 0,5\left(1 - \frac{d_3^2}{d_2^2}\right)^2\right]\cdot\frac{1}{\pi^2 d_3^4}\right\}$$

Thay số vào các biểu thức trên ta tính được:

$Q = 7,1\ l/s;\ h_{c1} = 6,6\ cm;\ h_{c2} = 26,4\ cm;\ h_{c3} = 25\ cm$

$$\frac{v_1^2}{2g} = 13,4\ cm;\ \frac{v_2^2}{2g} = 4,15\ cm;\ \frac{v_3^2}{2g} = 42\ cm$$

Đường năng và đường đo áp theo áp suất dư được biểu diễn trên hình vẽ. Từ hình vẽ cho ta thấy rằng trên mặt nước của bình chứa ta xem vận tốc v và áp suất dư bằng không; do đó đường năng và đường đo áp biểu diễn đại lượng z = H, nghĩa là chúng trùng với mặt thoáng. Vẽ đường năng hình bậc thang thấp dần có độ chênh từng bậc lần lượt là h_{c1}, h_{c2}, h_{c3}. Từ đó suy ra đường đo áp bằng cách hạ các bậc thang của đường năng các trị số lần lượt là:

$$\frac{v_1^2}{2g} = 13,4\ cm;\ \frac{v_2^2}{2g} = 4,15\ cm;\ \frac{v_3^2}{2g} = 42\ cm.$$

Nếu cắt bỏ đoạn ống thứ ba thì từ phương trình Becnuli ta suy ra rằng lưu lượng Q sẽ tăng vì h_w giảm. Trong trường hợp này, dạng tổng quát của đường năng sẽ không đổi còn đường đo áp ở đoạn ống 2 sẽ trùng trục ống. Ở đoạn cuối đường đo áp theo áp suất dư trùng trục ống.

Bài tập 4-1

Có 2 ống như nhau, $d = 150\ mm$, $l = 100\ m$, độ nhám tuyệt đối của ống $\Delta = 0,1\ mm$. Một ống có nước chảy và một ống có dầu chảy với cùng khối lượng $M = 7500\ kg/h$. Khối lượng riêng của dầu $\rho_d = 860\ kg/m^3$ và của nước $\rho_n = 998\ kg/m^3$. Hệ số nhớt động của dầu $\nu_d = 0,2\ cm^2/s$ và của nước $\nu_n = 0,0101\ cm^2/s$.

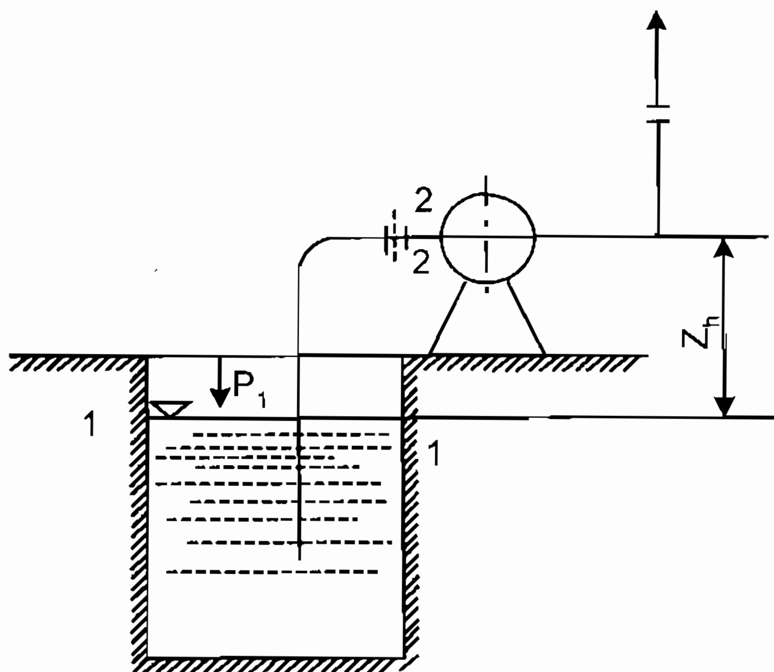
Xác định tổn thất dọc đường trong ống?

Đáp số: $h_{wn} = 0,0122\ mH_2O$;
$h_{wd} = 0,04\ mH_2O$;

Bài tập 4-2

Một máy bơm lấy nước từ giếng với lưu lượng $Q = 50\ l/s$. Nước có nhiệt độ 20^0C. Xác định chiều cao lớn nhất H_1 tính từ mặt nước đến trục máy bơm (hình vẽ) nếu áp suất trước máy bơm $p_2 = 0,3.\ 10^5 Pa$. Trên đường ống hút bằng gang có đường kính $d = 0,25\ m$ và chiều dài $l = 50m$ có một lưới chắn rác, khuỷu ngoặt êm với bán kính $R = 0,5\ m$ và một khoá điều chỉnh được mở 45%.

Đáp số: $H_1 \leq 6,2\ m$



Bài tập 4-3

Xác định tổn thất năng lượng khi nước ở nhiệt độ 10^0C, chảy qua đường ống, có đường kính $d = 200\ mm$, chiều dài $l = 200\ m$, độ nhám tuyệt đối thành ống $\Delta = 0,5\ mm$. Vận tốc nước $v_1 = 0,1\ m/s$.

Tổn thất năng lượng là bao nhiêu, nếu vận tốc trong ống $v_2 = 0,8\ m/s$.

Đáp số: $h_{w1} = 0,014\ m$;

$h_{w2} = 0,812m$

Phần ba

TÍNH TOÁN THỦY LỰC ĐƯỜNG ỐNG VÀ CÔNG TRÌNH

Chương 5

TÍNH TOÁN THỦY LỰC ĐƯỜNG ỐNG CÓ ÁP

Trong kỹ thuật và trong thực tiễn sản xuất ta gặp nhiều trường hợp các loại chất lỏng chảy trong các đường ống có áp khác nhau với các nhiệm vụ khác nhau (Như ống dẫn nước trong hệ thống cung cấp nước, ống dẫn nhiên liệu, dẫn hoá chất trong các thiết bị máy móc, hệ thống truyền động, truyền lực...)

Mục đích tính toán thủy lực đường ống là thiết kế hệ thống đường ống mới hoặc kiểm tra để sửa chữa, điều chỉnh hệ thống sẵn có cho phù hợp với yêu cầu cụ thể là xác định một trong các thông số: Lưu lượng *Q*; cột áp *H* tại đầu hoặc cuối đường ống, đường kính *d* hoặc cả *d* và *H*.

I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐỂ TÍNH TOÁN ĐƯỜNG ỐNG

1. Phân loại

Dựa vào đặc điểm tổn thất năng lượng trong đường ống h_w, chia đường ống thành 2 loại:

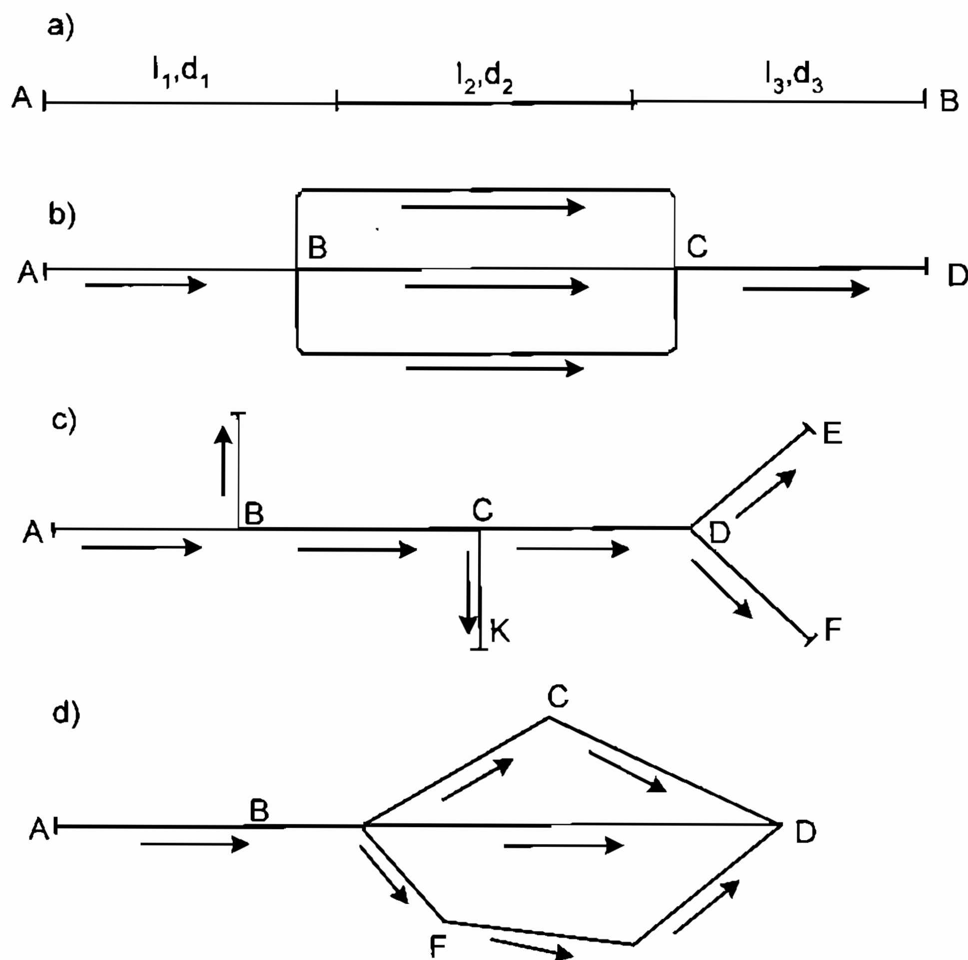
- Đường ống ngắn: Là đường ống có chiều dài không đáng kể, tổn thất năng lượng cục bộ là chủ yếu ($h_{wc} > 0,1\ h_w$). Ví dụ ống hút bơm ly tâm, đường ống dẫn nhiên liệu, dẫn dầu bôi trơn trên các động cơ...

- Đường ống dài: Là đường ống có chiều dài lớn; tổn thất năng lượng dọc đường là chủ yếu ($h_{wc} < 0,1\ h_w$). Ví dụ các đường ống trong hệ thống cung cấp nước, dẫn nhiên liệu từ bể chứa tới các điểm phân phối...

Căn cứ vào điều kiện thủy lực và cấu trúc đường ống, chia ra:

- Đường ống đơn giản là đường ống có đường kính *d* hoặc lưu lượng *Q* không đổi dọc theo chiều dài đường ống (Hình 5 - 1a).

- Đường ống phức tạp: *d* và *Q* thay đổi, nghĩa là gồm nhiều đường ống đơn giản ghép nối lại như đường ống có mạch rẽ (Hình 5 - 1c), đường ống chia nhánh song song (Hình 5 - 1b), đường ống có mạch vòng kín (Hình 5-1 d)...



Hình 5-1. Các loại đường ống phức tạp

2. Những công thức dùng trong tính toán thủy lực đường ống

- Phương trình Becnuli đối với chất lỏng thực (h_w tổn thất cột áp = tổn thất năng lượng đơn vị).

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

Hay $$H_1 = H_2 + h_w$$

Trong đó: $$H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$$ - Cột áp đầu ống

$$H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$ - Cột áp cuối ống

- Phương trình lưu lượng: $Q = v\,\omega$

- Công thức tính h_w :

$$h_{wd} = \lambda \frac{l}{d}\frac{v^2}{2g} \quad ; \quad h_{wc} = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Dựa vào các phương trình trên suy ra công thức chung: $f(H_1, H_2, d, Q, l) = 0$

II. TÍNH TOÁN THỦY LỰC ĐƯỜNG ỐNG ĐƠN GIẢN

1. Tính H_1 khi biết H_2 , Q, l, d, n (độ nhám tương đối)

Từ phương trình Becnuli:

$$H = H_1 - H_2 = h_w\left(\sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)\frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4}$$

Suy ra $$H_1 = \left(\sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)\frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} + H_2 \qquad (5 - 1)$$

Công thức (5-1) dùng khi cần tính độ cao tháp nước hoặc cột áp đầu một đoạn ống.

2. Tính Q, biết H_1, H_2 , l , d, n

Từ (5 - 1) ta rút ra:

$$Q = \sqrt{(H_1 - H_2)\frac{\pi^2 d^4 g}{8\left(\sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)}} \qquad (5 - 2)$$

Dựa vào công thức (5 - 2) ta thấy dù đã biết H_1, H_2 , l , d, n nhưng chưa xác định $\lambda = f(R_e)$. Bài toán phải giải theo phương pháp thử dần để chọn đúng λ từ đó giá trị Q cũng là đúng.

3. Tính d, biết l, H_1, H_2,Q, n

a) Phương pháp thử dần:

Từ (5-1) suy ra: $$H_1 - H_2 = h + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \left(\lambda\frac{l}{d} + \sum\zeta\right)\frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4}$$

Ta giả thiết các giá trị khác nhau của d, từ đó xác định λ , $\sum\zeta$ rồi thay vào vế phải của phương trình trên. Nếu giá trị vế phải $f(d_i) = h + \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$ thì d_i chính là đường kính ống cần tìm.

b) Phương pháp đồ thị :

Từ (5 -1) suy ra: $$d^4 = \frac{8}{\pi^2 g H}\left(\sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)Q^2$$

và đặt: $$y_1 = d^4$$

$$y_2 = f(d) = \frac{8}{\pi^2 g H}\left(\sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)Q^2$$

Biểu diễn hai hàm số này trên cùng một đồ thị, giao điểm của hai đường cong chiếu xuống trục d cho giá trị d cần tìm.

4. Tính d, H_1, biết H_2, Q, l, n

Trường hợp này trước hết xác định d theo vận tốc cho phép (Vận tốc kinh tế) để đảm bảo lưu lượng Q sau đó tính H_1 như bài toán 1

*Ví dụ: Bơm bánh răng phải đẩy dầu với lưu lượng $Q = 0{,}2 l/s$ vào trong bình chứa (thông với khí quyển) (hình 5-2). Xác định áp suất đẩy cần thiết của

bơm nếu biết: đường kính ống đẩy $d = 2cm$, chiều dài của nó $l = 1m$, $\zeta_K = 4$. Khoảng cách từ mặt thoáng bình đến trục bơm $z = 1,4m$. Độ nhớt của dầu $\nu = 0,2cm^2/s$, trọng lượng riêng của dầu $\gamma = 8450N/m$.

Giải: Xác định trạng thái chảy của dầu:

$$R_e = \frac{4Q}{\pi d \upsilon} = \frac{4.0,2.10^3}{\pi.2.0,2} \cong 637 < 2320 \ \rightarrow \text{chảy tầng.}$$

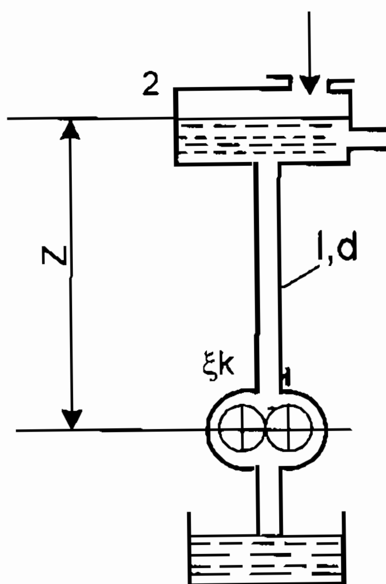
Bỏ qua $\dfrac{v^2}{2g}$ vì v bé :

$$H_1 - H_2 = \frac{8}{\pi^2 g}\left(\sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}\right)\frac{Q^2}{d^4}$$

và nếu lấy mặt chuẩn qua tâm bơm thì ta có:

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} - Z = \left(\zeta_K + \zeta_{dm} + \lambda\frac{l}{d}\right)\frac{8Q^2}{\pi^2 gd^4}$$

Trong đó: p_1 , p_2 - áp suất của bơm và áp suất tại mặt thoáng trong bình tính theo áp suất dư;



Hình 5-2. Xác định áp suất đẩy của bơm bánh răng

ζ_{dm} - hệ số tổn thất tại chỗ nối vào bình

Do đó:

$$p_1 = p_2 + \gamma Z + \left(\zeta_K + \zeta_{dm} + \lambda \frac{l}{d}\right)\frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} = 13.580 N/m^2$$

III. TÍNH TOÁN THỦY LỰC ĐƯỜNG ỐNG PHỨC TẠP

Tính toán đường ống phức tạp dựa trên cơ sở tính toán đường ống đơn giản. Sau đây ta xét một số hệ thống đường ống phức tạp thường gặp. Trên cơ sở đó suy ra cách tính toán các hệ thống khác.

1. Hệ thống đường ống nối tiếp

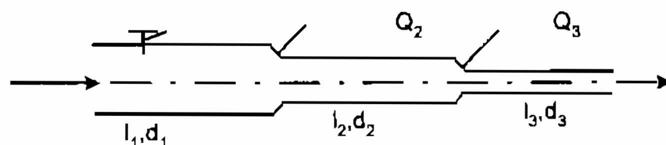
a) Trường hợp nối tiếp kín (Hình 5 - 3)

Đặc điểm thủy lực:

$Q = Q_1 = Q_2 = ... = Q_n$

$H = H_1 + H_2 + ... + H_n$

$H_{đầu} - H_{cuối} = H = \sum h_{wd} + \sum h_{wc}$

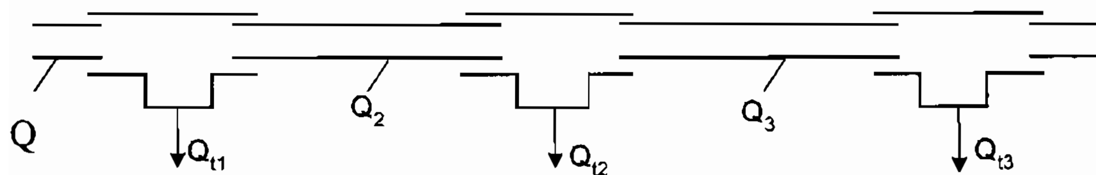


Hình 5-3. Sơ đồ đường ống nối tiếp kín

b) Trường hợp ống nối tiếp có rò rỉ chất lỏng ở các chỗ nối (Hình 5 - 4)

$$Q_1 = Q_2 + Q_{t1} = Q_3 + Q_{t1} + Q_{t2} = ... = Q_i + \sum_{1}^{i-1} Q_t$$

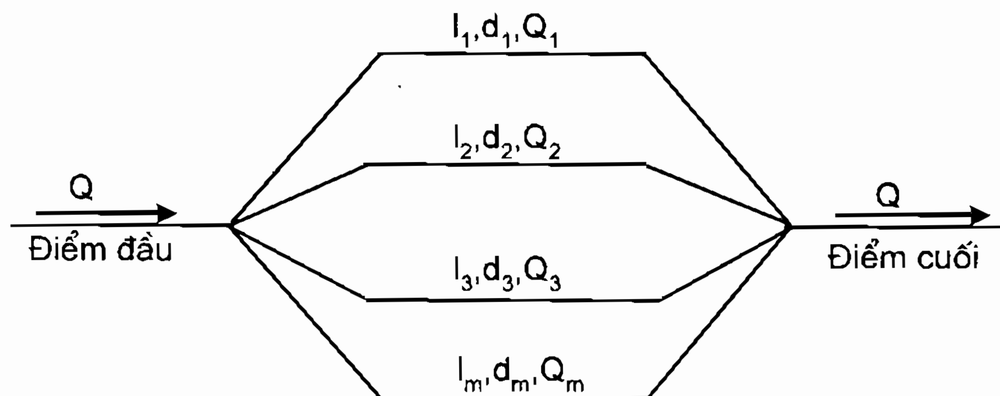
$$H = \sum h_{wd} + \sum h_{wc}$$



Hình 5 - 4. Sơ đồ ống nối tiếp có rò rỉ chất lỏng ở các chỗ nối

Chú ý: Đối với đường ống dài có thể lấy $\sum h_{wc} = (0,05 \div 0,1) \sum h_{wd}$

2. Hệ thống đường ống nối song song (Hình 5 - 5)



Hình 5-5. Sơ đồ đường ống mắc song song

$$Q = Q_1 + Q_2 + \ldots\ldots + Q_i + \ldots\ldots + Q_m = \sum_{i=1}^{m} Q_i$$

$$H_{đầu} - H_{cuối} = H = H_1 = H_2 = \ldots\ldots = H_i = \ldots\ldots = H_m$$

$$H_i = h_{di} + \sum h_{ci} + h_{nvi} + h_{nri}$$

Trong đó: h_{nvi}, h_{nri} - Tổn thất năng lượng tại nút vào và nút ra của dòng chảy qua ống thứ i

$\sum h_{ci}$ - Tổng tổn thất cục bộ trên đoạn ống thứ i

h_{di} - Tổn thất dọc đường trên đoạn ống thứ i

3. Hệ thống đường ống phân phối liên tục (Hình 5 - 6)

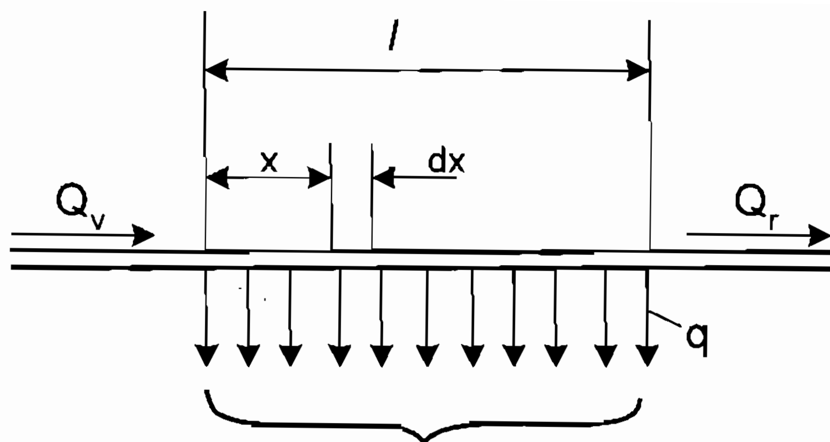
$Q_{ff} = q\,l$ (q - Lưu lượng trên một đơn vị dài)

$$Q_m = Q_v - \frac{Q_{ff}}{l}x = Q_r + Q_{ff} - \frac{Q_{ff}}{l}x$$

Tính tổn thất năng lượng dh trên dx (coi lưu lượng không đổi trên dx)

Nếu coi trên dx , $\sum \zeta = 0$

$$dh = \frac{8}{\pi_2 g}\lambda \frac{dx}{d^3}\left(Q_r + Q_{ff} - \frac{Q_{ff}}{l}x\right)^2$$



Hình 5 - 6. Đường ống phân phối liên tục

Suy ra:

$$h_d = \int_0^l dh = \frac{8}{\pi^2 g}\lambda \frac{l}{d^3}\left(Q_r^2 + Q_r Q_{ff} + \frac{1}{3}Q_{ff}^2\right)$$

h_d - Chính là độ chênh cột áp trên đoạn l

4. Hệ thống đường ống phân nhánh hở

Trong tính toán thủy lực đường ống phân nhánh hở thường gặp 2 loại bài toán: Thiết kế và kiểm tra.

- Bài toán kiểm tra là cho trước cột áp ở đầu đường ống, kiểm tra lại xem sau khi bị tổn thất năng lượng trong quá trình vận chuyển, cột áp còn lại cuối đường ống (nơi tiêu thụ) có đủ yêu cầu không?

- Bài toán thiết kế là tính được cột áp của nguồn cần thiết đủ để thắng mọi sức cản trên đường ống, thoả mãn yêu cầu cột áp và lưu lượng ở nơi tiêu thụ (cuối đường ống)

** Các bước giải bài toán đường ống phân nhánh:*

Thông thường trong một bài toán thiết kế người ta cho những số liệu sau:

- Lưu lượng cột áp yêu cầu tại các nơi tiêu thụ: Q_i; H_i

- Độ cao hình học của các điểm trong hệ thống đường ống: Z_i (Tính từ một mặt chuẩn chung)

- Chiều dài các đoạn ống: l_i

- Hệ số nhám n hoặc độ nhám Δ của ống.

Yêu cầu xác định đường kính của các đoạn ống và cột áp của nguồn H_0.

Bước 1: Tính đường ống cơ bản:

Chọn đường ống cơ bản (đường ống chính) là nhánh đường ống có yêu cầu về năng lượng vận chuyển chất lỏng cao nhất (thường chọn nhánh có Q lớn và l dài nhất).

- Xác định đường kính đường ống cơ bản theo vận tốc kinh tế.

$$d_i = \sqrt{\frac{4Q_i}{\pi v_{KT}}}$$

- Xác định cột áp nguồn H_0

Bước 2: Tính đường ống nhánh.

Nhiệm vụ của việc tính đường ống nhánh là xác định được đường kính của nó. Tương tự như bài toán 3 (đường ống đơn giản) với điều kiện xác định được cột áp đầu nhánh.

* *Ví dụ:* Tính toán thủy lực hệ thống đường ống phân nhánh (Hình 5-7)

Các số liệu cho:

- Độ cao hình học: Z_A, Z_B, Z_C, Z_D, Z_E, Z_K, Z_L, Z_N;

- Lưu lượng yêu cầu: Q_K, Q_N, Q_L, Q_E;

- Chiều dài từng đoạn ống: l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7;

- Cột áp yêu cầu: h_K, h_E, h_L, h_N.

Xác định đường kính ống và cột áp cần thiết H_A ở đầu hệ thống đường ống.

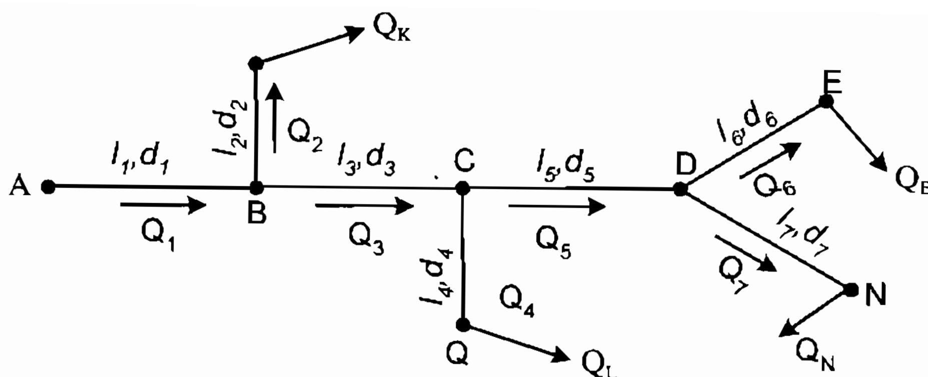
Theo sơ đồ trên chọn đường ống cơ bản là $ABCDE$.

Xác định lưu lượng trên từng đoạn đường ống :

$Q_7 = Q_N$; $Q_6 = Q_E$; $Q_5 = Q_E + Q_N$; $Q_4 = Q_L$; $Q_3 = Q_L + Q_E + Q_N$; $Q_2 = Q_K$; $Q_1 = Q_K + Q_L + Q_E + Q_N$;

Xác định đường kính các đoạn ống:

$$d_6 = 1{,}13\sqrt{\frac{Q_6}{v_{KT}}} \ ; \ldots d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{Q_1}{v_{KT}}}$$



Hình 5-7. Sơ đồ đường ống phân nhánh hở

- Xác định tổn thất cột áp trên các đoạn ống :

$$H_6 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_6}{d_6} \right) \frac{8}{\pi^2 d_6^4 g} Q_6^2$$

$$H_5 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_5}{d_5} \right) \frac{8}{\pi^2 d_5^4 g} Q_5^2$$

$$H_1 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{\pi^2 d_1^4 g} Q_1^2$$

Trị số cột áp cần thiết H_A ở đầu hệ thống đường ống được xác định:

$$H_A = H_1 + H_3 + H_5 + H_6 + (Z_E + h_E)$$

Để tính đường ống nhánh ta xác định cột áp ở các điểm *B* , *C* , *D* rồi tính tổn thất năng lượng trong các đường ống nhánh *BK*, *CL* và *DN* và cuối cùng chọn đường kính của các đường ống nhánh d_2, d_4 và d_7 . Sau đó tiến hành kiểm tra:

Đoạn *BK*: $$H_B - H_K \geq \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{\pi^2 d_2^4 g} Q_K$$

Đoạn *CL*: $$H_C - H_L \geq \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_4}{d_4} \right) \frac{8}{\pi^2 d_4^4 g} Q_L$$

Đoạn *DN*: $$H_D - H_N \geq \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_7}{d_7} \right) \frac{8}{\pi^2 d_7^4 g} Q_N$$

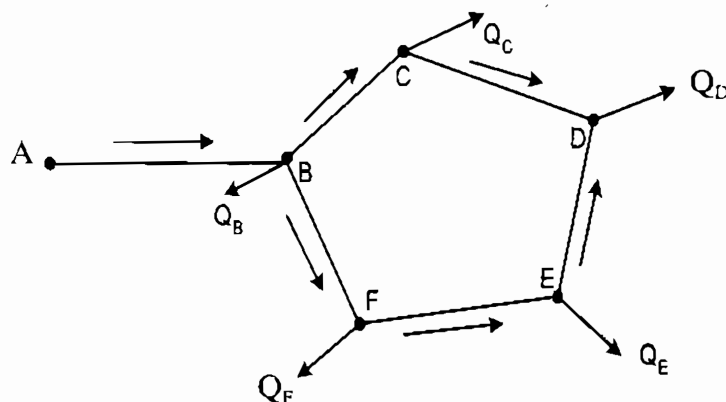
Nếu thoả mãn thì tốt, không thoả mãn thì phải chọn lại đường ống cơ bản và tính lại.

Trong trường hợp cho trước cột áp đầu hệ thống đường ống H_A, ta xem đường ống cơ bản *ABCDE* như đường ống đơn giản mắc nối tiếp có lưu lượng và đường kính ống khác nhau.

Tính xong đường ống cơ bản ta biết được tổn thất cột áp của từng đoạn ống và tính được cột áp ở các điểm đầu đường ống nhánh *B, C, D;* rồi chọn đường kính các ống nhánh như ở trường hợp biết chiều dài *l*, lưu lượng *Q* và tổn thất năng lượng h_W ở ống đơn giản.

5. Hệ thống đường ống vòng kín

Giả sử xét một hệ thống đường ống vòng kín gồm có ống chính *AB* và một vòng kín *ACDEFB* (hình 6-7). Lưu lượng tháo ra ở các điểm *B, C, D, E, F* là Q_A, Q_B, Q_C, Q_D, Q_E và Q_F.



Hình 5-8. Sơ đồ hệ thống đường ống vòng kín

Trước hết ta chọn phương chuyển động của chất lỏng. Lấy điểm xa nhất làm điểm tháo nước cuối cùng. Ở sơ đồ này ta có thể lấy điểm *D* và như vậy chất lỏng sẽ chảy đến điểm *D* từ hai phía.

Sau khi xác định xong hướng chuyển động ta tính toán như ở trường hợp có mạch rẽ song song và tổn thất trong hai nhánh *BCD* và *BFED* bằng nhau:

$$h_{WBCD} = h_{WBFED}$$

Nếu điều kiện trên không thoả mãn, phải chọn lại điểm tháo nước cuối cùng hoặc thay đổi đường kính các đoạn ống.

IV. PHƯƠNG PHÁP DÙNG HỆ SỐ ĐẶC TRƯNG LƯU LƯỢNG K

1. Nội dung

Phương pháp này dùng để tính toán cho đường ống dài, chảy rối và chảy đều có áp.

Do ống dài nên $H = h_W \approx h_{Wd} = Jl$.

Trong đó: J - Độ dốc thủy lực; l - Chiều dài ống.

Vận tốc của dòng chảy đều được xác định theo công thức Sedi:

$$v = C\sqrt{RJ}$$

Trong đó: R -Bán kính thủy lực; $C = \frac{1}{n}\left(\frac{d}{4}\right)^y$ - Hệ số Sedi

n -Độ nhám tương đối; y - Hệ số phụ thuộc R và n

Do đó, lưu lượng qua ống là:

$$Q = \omega C\sqrt{RJ} = K\sqrt{J}$$

Với $J = 1$ thì $Q = K$ (m^3/s), có nghĩa K là lưu lượng của dòng chảy qua mặt cắt ướt khi độ dốc thủy lực bằng 1 đơn vị và được gọi là hệ số đặc trưng lưu lượng $K = K(d,n)$.

Thay $J = h_{Wd}/l$ vào Q, ta có $H = h_{Wd} = l\frac{Q^2}{K^2}$ (5-3)

Các giá trị của K (hoặc $1/K^2$) được tính sẵn cho các loại đường ống có d và n khác nhau ứng với $v > 1{,}2$ m/s (chảy rối hay là khu vực sức cản bình phương). (Xem phần phụ lục 5, 6).

Ứng với chảy tầng $v \le 1{,}2$ m/s phải nhân (5-3) với hệ số hiệu chỉnh tổn thất a:

$$h_{wd} = a\frac{Q^2}{K^2}l \qquad (5\text{-}4)$$

Bảng 5-1

v	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
a	1,41	1,2	1,15	1,115	1,085	1,06	1,04	1,03	1,015	1

2. Ứng dụng để giải 4 bài toán cơ bản

a) $H_1 = ?$ $H = H_1 - H_2 = h_{Wd} = (Q/K)^2\, l$

Suy ra $H_1 = (Q/K)^2\, l + H_2$

b) $Q = ?$ Từ (5-3) suy ra: $Q = K\sqrt{\dfrac{H}{l}}$

K - Tra bảng theo trị số d và n đã cho.

c) $d = ?$ Theo đầu bài ta tính được $K = \dfrac{Q}{\sqrt{\dfrac{H}{l}}}$

Từ K và n đã cho, tra bảng ngược lại tìm d trong bảng trị số K

d) $d, H_1 = ?$ Chọn trước d theo v_{KT}, sau đó dựa vào d và n tra bảng tìm K tương ứng

Từ K, Q, l tìm được H, H_1.

3. Ứng dụng để tính đường ống phức tạp

a) Đường ống nối tiếp: Q bằng nhau, $H = \sum H_i$

$$H = Q^2 \sum_{i=1}^{m} \frac{l_i}{K_i^2} \rightarrow Q = \sqrt{\frac{H}{\sum_{i=1}^{m} \frac{l_i}{K_i^2}}}$$

b) Đường ống song song: H bằng nhau; $Q = \sum Q_i$

$$Q_1 = K_1\sqrt{\frac{H}{l_1}}\ ;\ldots Q_m = K_m\sqrt{\frac{H}{l_m}}$$

Suy ra

$$Q = \sum_{i=1}^{m} Q_i = \sqrt{H}\sum_{i=1}^{m}\frac{K_i}{\sqrt{l_i}}$$

c) Đường ống phân phối liên tục:

$$H = \frac{l}{K^2}\left(Q_r^2 + Q_r Q_{ff} + \frac{1}{3}Q_{ff}^2\right) \approx \frac{l}{K^2}\left(Q_r + 0,55Q_{ff}\right)^2$$

hay: $$H = \frac{Q_{tt}^2}{K^2} l$$

d) Đường ống phân nhánh hở:

Ta cũng chia hệ thống đường ống thành đường ống cơ bản và đường ống nhánh để tính (như đã trình bày trong mục 4, trang 93) nhưng việc tính toán được đơn giản nhiều.

- Khi tính đường ống cơ bản, đường kính các đoạn ống sẽ tính theo vận tốc kinh tế và lưu lượng yêu cầu, còn độ chênh cột áp đầu và cuối đường ống cơ bản sẽ là:

$$H = \sum_{i=1}^{m} h_{wdi} = \sum_{i=1}^{m} \frac{Q_i^2 l_i}{K_i^2}$$

m - Số đoạn đường ống đơn giản tạo nên đường ống cơ bản.

Chú ý rằng $H = (Z_o - Z_c) + h_o - h_c$

Trong đó: Z_o, Z_c - Độ cao hình học đầu và cuối đường ống.

h_o, h_c - Độ cao đo áp yêu cầu tại đầu và cuối đường ống cơ bản.

- Khi tính đường ống nhánh, thông thường đường kính của nó không được tính theo vận tốc kinh tế. Nó được quyết định bởi lưu lượng yêu cầu, độ chênh cột áp đầu và cuối nhánh phụ, nghĩa là phải chọn đường ống có đường kính sao cho với lưu lượng yêu cầu, dòng chảy trong đó tổn thất cột áp phù hợp với độ chênh cột áp giữa đầu và cuối nhánh:

$$H_d - H_c = h_{wd}$$

V. PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ ĐỂ TÍNH TOÁN ĐƯỜNG ỐNG

Từ công thức cơ bản của đường ống (5 -3):

$$h_w = \frac{l}{K^2} l Q^2 = AQ^2$$

Ta nhận thấy với một đường ống xác định có l và d thì tổn thất h_w là hàm số của lưu lượng Q .

Đường đồ thị biểu diễn hàm số $h_w = AQ^2$ gọi là đường đặc tính ống dẫn.

Nếu tính cột áp của đường ống theo biểu thức:

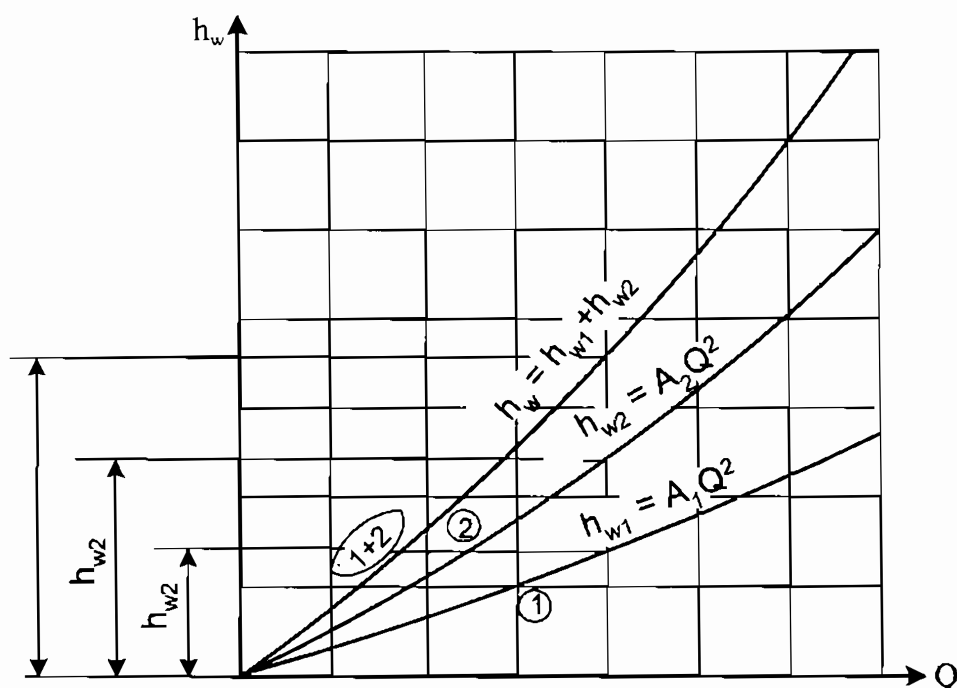
$$H = z_c + h_c + h_w = H_o + AQ^2 \qquad (5\text{-}5)$$

$H_o = z_c + h_c$ - Cột áp ở cuối đường ống (có trị số xác định)

Đường biểu diễn phương trình (5-5) gọi là đường đặc tính ống dẫn trong hệ thống (cách gốc toạ độ một đoạn H_o).

Trường hợp $H_o = 0$, đường đặc tính sẽ đi qua gốc toạ độ.

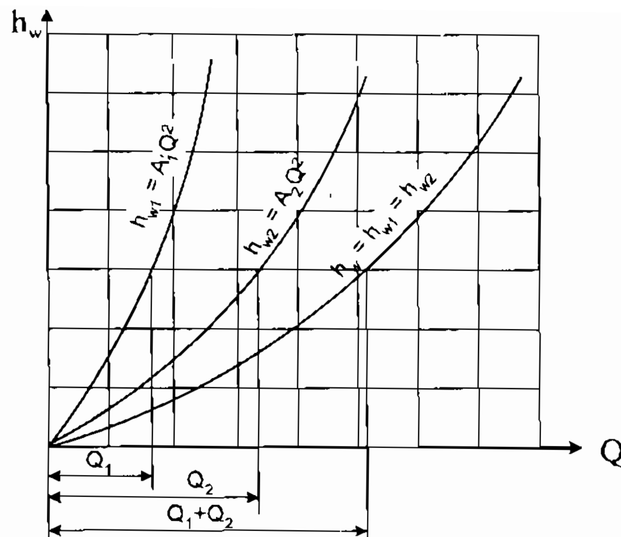
Để có đường đặc tính chung cho đường ống gồm nhiều đoạn ống mắc nối tiếp thì với mỗi lưu lượng chảy qua, tổn thất sẽ bằng tổng tổn thất các đoạn ống. Vẽ đường đặc tính ống dẫn cho từng đoạn đường ống. Sau đó vẽ đường đặc tính ống dẫn tổng hợp chung cho toàn bộ hệ thống đường ống.



Hình 5-9. Đường đặc tính của đường ống gồm 2 đường ống đặt nối tiếp

Với mỗi giá trị Q nhất định ta xác định được ngay giá trị $\sum h_w$ của hệ thống đường ống trên đồ thị (hình 5-9).

Nếu đường ống gồm nhiều đoạn mắc song song thì ứng với mỗi trị số của tung độ (tổn thất năng lượng h_w) ta cộng các trị số của hoành độ (lưu lượng Q) sẽ được lưu lượng chung cho cả đường ống. Lấy nhiều điểm như vậy sẽ vẽ được đường đặc tính chung cho đường ống (hình 5-10).



Hình 5-10. Đường đặc tính của đường ống gồm 2 đường ống mắc song song

Trong trường hợp đường ống phức tạp gồm nhiều đoạn ống mắc song song và nối tiếp thì ta vẽ đường đặc tính cho những đoạn mắc song song và sau cùng thì vẽ đường đặc tính tổng cộng gồm nhiều đoạn ống mắc nối tiếp.

Dùng phương pháp đồ thị ta có thể xác định được tổn thất năng lượng của đường ống và do đó xác định được cột áp ở đầu đường ống khi biết lưu lượng hoặc ngược lại xác định được lưu lượng chảy qua đường ống khi cho trước cột áp.

VI. VA ĐẬP THỦY LỰC TRONG ĐƯỜNG ỐNG

1. Hiện tượng

Va đập thủy lực là hiện tượng biến đổi áp suất đột ngột khi vận tốc của dòng chảy tăng hay giảm đột ngột.

Va đập thủy lực có thể chia ra va đập dương (thuận) trong đó vì vận tốc giảm mà gây ra tăng áp suất và va đập âm (nghịch) do vận tốc tăng làm áp suất giảm.

Chẳng hạn, nước chảy trong ống có áp. Nếu ngăn cản đột ngột dòng chảy, ví dụ đóng khoá lại thì áp suất trong ống sẽ tăng lên đột ngột. Áp suất ngay sát khoá sẽ tăng lên trước, nước sẽ bị nén lại. Sau đó theo mức độ dừng lại của các lớp nước mà sự tăng áp suất sẽ nhanh chóng truyền đi theo đường ống tạo thành sóng tăng áp suất.

Sự tăng áp suất truyền đi với tốc độ lớn sẽ làm ép chất lỏng lại và thành ống giãn ra. Sự biến dạng đàn tính của chất lỏng và của ống sẽ sinh ra cùng với tốc độ truyền tăng áp suất theo chiều dài ống. Tốc độ truyền biến dạng đàn tính gọi là tốc độ truyền sóng va đập. Sau khi lớp nước cuối cùng dừng lại thì tất cả nước trong ống đều bị ép. Lúc đó áp suất trong ống lớn hơn áp suất trong bình nên nước chảy ngược về bình, áp suất trong ống sẽ đột ngột hạ xuống. Sự giảm áp suất đó cũng sẽ từng lớp mà truyền tới khoá nước và gọi là sóng va đập nghịch. Thời gian chảy của sóng va đập thuận và va đập nghịch làm thành một pha của sóng va đập.

Quá trình sóng va đập xảy ra rất nhanh (bởi vì tốc độ truyền sóng va đập rất lớn). Sự phát sinh ra pha va đập được lặp đi lặp lại theo chu kỳ và giảm dần do có sự tiêu hao năng lượng. Sự tăng cao áp suất khi có va đập thủy lực phụ thuộc vào áp suất ban đầu của dòng chảy và lớn hơn rất nhiều so với cột áp tĩnh gây ra dòng chảy. Hiện tượng va đập thủy lực khá phức tạp, mãi đến năm 1898 mới được nhà bác học Nga Jucôpxki phân tích có lý luận chặt chẽ.

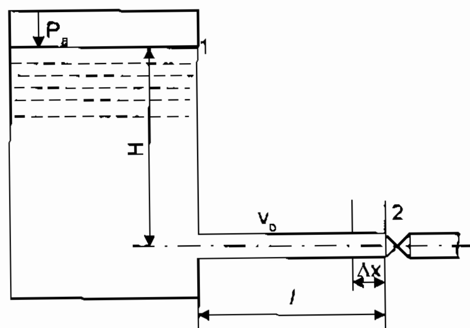
2. Tính độ tăng áp suất, tốc độ truyền sóng va đập

Quan sát đường ống có đường kính d, diện tích của các mặt cắt ống là ω và chiều dài l, nối với một bình chứa (hình 5-11). Trước khi đóng khoá có vận tốc v_o và áp suất p_o .

Khi đóng khóa đột ngột cuối đường ống, lớp chất lỏng ở gần khoá trên đoạn Δx có khối lượng $\rho\omega\Delta x$ bị ép lại dưới tác dụng của lực quán tính. Do đó sau thời gian Δt, áp suất ở lớp đó tăng lên Δp và vận tốc bằng 0. Ta viết phương trình động lượng:

$$F\Delta t = m\Delta v$$

Ứng dụng trong trường hợp xét ta có:



Hình 5-11. Sơ đồ xác định va đập thủy lực trong ống

$F = \Delta p\omega$, $m = \rho\omega\Delta x$, $\Delta v = v_o - 0$

Thay vào phương trình trên:

$$\Delta p\omega\Delta t = \rho\omega\Delta x\, v_o$$

Rút ra:
$$\Delta p = \rho \frac{\Delta x}{\Delta t} v_o \qquad (5\text{-}6)$$

Nếu $\Delta t \to 0$ thì ta có áp suất cực đại ở gần chỗ khoá:

$$C = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

C -Tốc độ truyền sóng va đập thủy lực. Thay C vào (5-6):

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{C}{g} v_o \qquad (5\text{-}7)$$

Công thức (5-7) do Jucôpxki đưa ra, dùng để xác định độ tăng áp suất khi va đập thủy lực.

Ứng dụng lý luận động lượng vào khối chất lỏng giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2, và tính sự thay đổi khối lượng chất lỏng trong đoạn ống cùng với sự biến dạng của thành ống (theo định luật Hook) Jucôpxki đã xác định được công thức để tính tốc độ truyền sóng va đập trong nước gọi là tốc độ truyền nước va:

$$C = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{E_o d}{E\delta}}}$$

Trong đó : E_o - môđun đàn hồi của nước;

d - đường kính ống;

E - môđun đàn hồi của vật liệu làm ống;

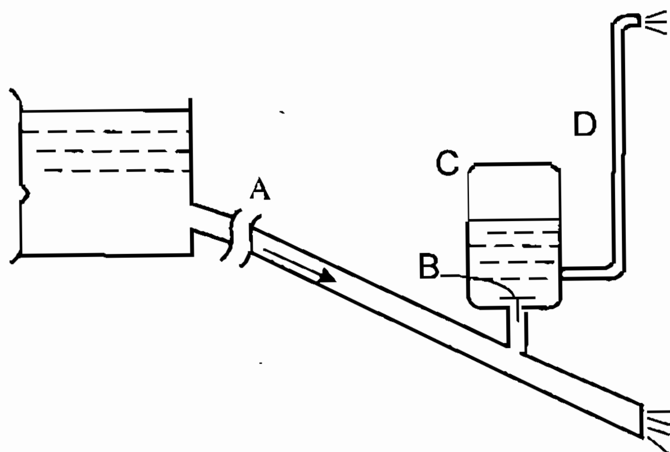
δ - chiều dài thành ống.

Khi có va đập thủy lực, áp suất sinh ra rất lớn có thể gây ra vỡ ống, nên phải tìm biện pháp để làm giảm hoặc ngăn ngừa, như đóng mở khoá van từ từ, dùng ống có đường kính lớn để làm giảm vận tốc, dùng vật liệu có môđun đàn hồi bé; dùng những thiết bị tự động tháo chất lỏng khi áp suất vượt quá qui định ...

3. Ứng dụng hiện tượng va đập thủy lực

Hiện tượng va đập thủy lực được lợi dụng trong các bơm nước va (hình5-12). Nguyên lý làm việc của bơm nước va như sau:

Van A trên đường ống được điều chỉnh để cho nước từ một bể chứa chảy qua.



Hình 5-12. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của bơm nước va

Khi nào vận tốc của dòng nước đạt tới một trị số định trước thì dòng nước đóng van A đột ngột, sinh ra hiện tượng va đập thủy lực; áp suất trong ống dẫn nước tăng vọt làm mở van B trong bình C, làm cho nước chảy vào trong bình C. Do áp suất bình C tăng đẩy nước lên ống đẩy D.

Khi nước chảy vào bơm thì áp suất trong đường ống giảm, van B đóng lại, van A tự động mở và hiện tượng tiếp tục lặp lại.

VII. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 5-1

Dùng ống xiphông bằng kim loại dẫn nước từ kênh vào máng tưới (hình vẽ). Chiều dài ống xiphông $l = 20\ m$. Độ nhám tuyệt đối $\Delta = 0,2\ mm$. Trên ống xiphông có hai chỗ vòng 45^0 (với $\frac{d}{R} = 1,\quad \zeta = \frac{0,29}{2} = 0,15$) và lưới chắn rác chỗ vào ống $\zeta = 5,0$.

Xác định:

1. Đường kính ống xiphông d, sao cho lưu lượng nước $Q = 45\ l/s$, độ chênh mực nước H không vượt quá $1,7\ m$.

2. Chiều cao của ống xiphông trên mực nước trong kênh, để độ chân không tại M không vượt quá $6,4\ m$ cột nước.

Giải:

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt (1-1) và (3-3), lấy mặt chuẩn (0-0).

$$a + H + \frac{p_a}{\gamma} = \frac{p_3}{\gamma} + h_w$$

mà: $\frac{p_3}{\gamma} = p_a + a$

do đó: $H = h_w$

Xác định h_w: $h_w = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta\right)\frac{v^2}{2g}$

Trong đó: $\sum \zeta = \zeta_{lưới} + 2\zeta_{vòng} + \zeta_{chảy\ ra} = 5 + 2.0,15 + 1 = 6,3$

Để xác định sơ bộ, ta bỏ qua tổn thất dọc đường và tính vận tốc trong ống theo biểu thức sau:

$$H = h_w = \sum \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Rút ra: $v = \frac{1}{\sqrt{\sum \zeta}}.\sqrt{2gH} = \frac{1}{\sqrt{6,3}}.\sqrt{2.9,81.1,7} = 2,31\ m$

Diện tích mặt cắt ướt của ống:

$$\omega = \frac{Q}{v} = \frac{0{,}045}{2{,}31} = 0{,}0195\ m^2$$

và tính được đường kính ống $d = 15{,}8\ cm$.

Lấy đường kính ống theo qui chuẩn $d = 175\ mm$ (d tính toán là $173\ mm$), có mặt cắt $\omega = 0{,}0235\ m^2$.

Hệ số cản dọc đường λ, tính cho trường hợp chảy rối hoàn toàn (khu vực sức cản bình phương) theo công thức Nicurat: $\lambda = 0{,}0204$.

Xác định lại vận tốc trong ống:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{0{,}045}{0{,}0235} = 1{,}92\ m/s$$

Bây giờ xác định lại tổn thất năng lượng trong ống, có tính cả tổn thất dọc đường:

$$h_w = \left(\lambda\frac{l}{d} + \sum\zeta\right)\frac{v^2}{2g} = \left(\frac{0{,}0204.30}{0{,}173} + 6{,}3\right).\frac{1{,}92^2}{2.9{,}81} = 1{,}64\ m$$

Như vậy tổn thất năng lượng trong phạm vi cho phép (không vượt quá $1{,}70\ m$).

Để xác định chiều cao của ống xi phông, viết phương trình Becnuli cho mặt cắt (1-1) và (2-2), lấy mặt chuẩn (1-1):

$$\frac{p_a}{\gamma} = z + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

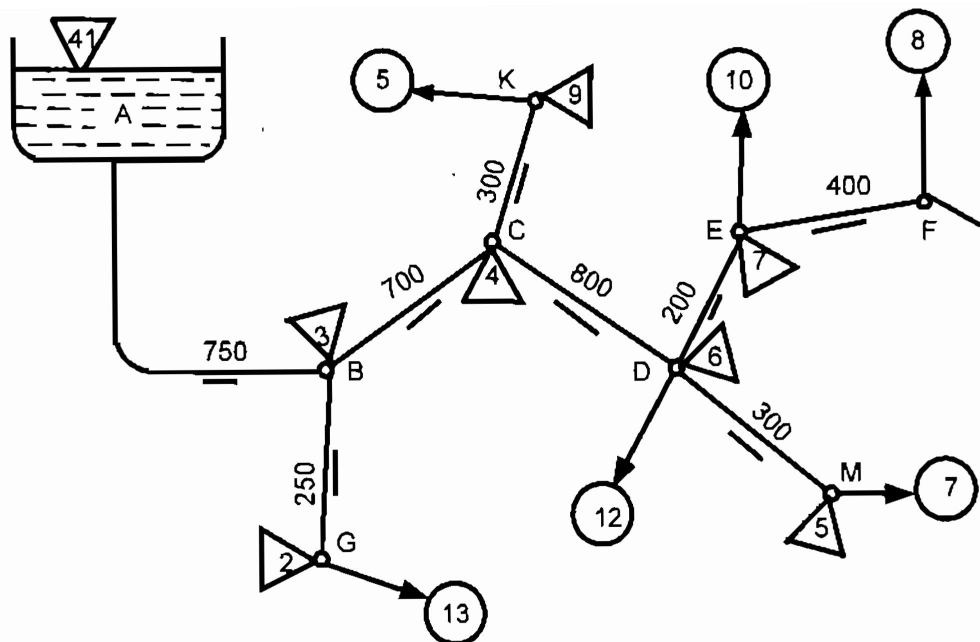
Rút ra:

$$z = \frac{p_a - p_2}{\gamma} - \frac{v_2^2}{2g}\left(1 + \frac{0{,}0204.15}{0{,}173} + 5{,}3\right).\frac{1{,}92^2}{2.9{,}81} = 4{,}98\ m$$

Ví dụ 5-2

Xác định đường kính ống gang của mạng lưới phân phối nước (hình vẽ). Lưu lượng nước ở các điểm, viết trong vòng tròn, tính bằng l/s. Độ cao hình học tại các khâu dẫn và điểm dùng nước viết trong tam giác. Chiều dài các đoạn ống tính bằng mét, viết có gạch ở dưới.

Cột áp tự do ở các điểm dùng nước là 5 m; bỏ qua tổn thất cục bộ.



Giải:

Trước hết ta chọn đường ống chính là ABCDEF, và xác định tổn thất năng lượng:

$$\sum h_w = H_A - (H_F + 5) = 41 - (8 + 5) = 28\ m$$

Độ dốc thủy lực trung bình trong đường ống chính:

$$J = \frac{\sum h_w}{\sum l} = \frac{28}{750 + 700 + 800 + 200 + 400} = 0{,}00983$$

Đặc tính lưu lượng và đường kính các đoạn ống trên đường ống chính:

$$K_{EF}^2 = \frac{Q_{EF}^2}{J} = \frac{8^2}{0{,}00983} = 6510 \quad \text{và} \quad d_{EF} = 125\ mm$$

$$K_{DE}^2 = \frac{Q_{DE}^2}{J} = \frac{18^2}{0{,}00983} = 33000 \quad \text{và} \quad d_{DE} = 150\ mm$$

$$K_{CD}^2 = \frac{Q_{CD}^2}{J} = \frac{37^2}{0{,}00983} = 139000 \quad \text{và} \quad d_{CD} = 200\ mm$$

$$K_{BC}^2 = \frac{Q_{BC}^2}{J} = \frac{42^2}{0,00983} = 180000 \qquad \text{và} \qquad d_{BC} = 250\ mm$$

$$K_{AB}^2 = \frac{Q_{AB}^2}{J} = \frac{60^2}{0,00983} = 366000 \qquad \text{và} \qquad d_{AB} = 250\ mm$$

Vận tốc nước chảy trong các đoạn của đường ống chính:

$$v_{EF} = \frac{Q_{EF}}{\omega_{EF}} = \frac{0,008.4}{3,14.0,125^2} = 0,65\ m/s$$

$$v_{DE} = \frac{Q_{DE}}{\omega_{DE}} = \frac{0,018.4}{3,14.0,15^2} = 1,02\ m/s$$

$$v_{CD} = \frac{Q_{CD}}{\omega_{CD}} = \frac{0,037.4}{3,14.0,2^2} = 1,18\ s$$

$$v_{BC} = \frac{Q_{BC}}{\omega_{BC}} = \frac{0,042.4}{3,14.0,25^2} = 0,85\ m/s$$

$$v_{AB} = \frac{Q_{AB}}{\omega_{AB}} = \frac{0,06.4}{3,14.0,25^2} = 1,2 m/s$$

Như vậy ta phải đưa vào hệ số b cho các đoạn ống có vận tốc nhỏ hơn 1,2 m/s để tính lưu lượng của ống:

$$K_{EF}^{'2} = \frac{K_{EF}^2}{\beta_{EF}} = \frac{9025}{1,10} = 8200\ l^2/s$$

$$K_{DE}^{'2} = \frac{K_{DE}^2}{\beta_{DE}} = \frac{23890}{1,03} = 23200\ l^2/s$$

$$K_{CD}^{'2} = \frac{K_{CD}^2}{\beta_{CD}} = \frac{110750}{1,0} = 110750\ l^2/s$$

$$K_{BC}^{'2} = \frac{K_{BC}^2}{\beta_{BC}} = \frac{363400}{1,05} = 346000\ l^2/s$$

$$K'^2_{AB} = \frac{K^2_{AB}}{\beta_{AB}} = \frac{363400}{1,0} = 363400\ l^2/s$$

Tính lại tổn thất năng lượng thực tế trên các đoạn ống của đường ống chính:

$$h_{wAB} = \frac{Q^2_{AB}.l_{AB}}{K^2_{AB}} = \frac{60^2.750}{363400} = 7,44\ m$$

$$h_{wBC} = \frac{Q^2_{BC}.l_{BC}}{K^2_{BC}} = \frac{42^2.700}{346000} = 3,57\ m$$

$$h_{wCD} = \frac{Q^2_{CD}.l_{CD}}{K^2_{CD}} = \frac{37^2.800}{110750} = 9,92\ m$$

$$h_{wDE} = \frac{Q^2_{DE}.l_{DE}}{K^2_{DE}} = \frac{18^2.200}{23200} = 2,79\ m$$

$$h_{wEF} = \frac{Q^2_{EF}.l_{EF}}{K^2_{EF}} = \frac{8^2.400}{8200} = 3,12\ m$$

Tổn thất năng lượng của cả đường ống chính:

$$\sum h_w = 7,44 + 3,57 + 9,92 + 2,79 + 3,12 = 26,84\ m$$

Như vậy không vượt quá điều kiện cho phép $\sum h_w = 28\ m$.

Đường kính các đoạn ống nhánh được xác định theo lưu lượng và tổn thất năng lượng cho phép.

Tính đặc tính lưu lượng và xác định đường kính ống:

Ống nhánh *BG, CK, DM*:

$$K^2_{BG} = \frac{Q^2_{BG}.l_{BG}}{h_{wBG}} = \frac{18^2.250}{41 - 7,41 - 2 - 5} = 3050 \text{ và } d_{BG} = 125\ mm.$$

$$K^2_{CK} = \frac{Q^2_{CK}.l_{CK}}{h_{wCK}} = \frac{5^2.300}{41 - 7,41 - 3,57 - 9 - 5} = 470 \text{ và } d_{CK} = 75\ mm.$$

$$K^2_{DM} = \frac{Q^2_{DM}.l_{DM}}{h_{wDM}} = \frac{7^2.300}{41 - 7,41 - 3,57 - 9,92 - 5 - 5} = 1460 \text{ và } d_{DM} = 100\ mm.$$

Bài tập 5-1

Xác định cột áp cần thiết H của bể chứa cung cấp nước cho mạng lưới vòng kín, bằng ống thép.

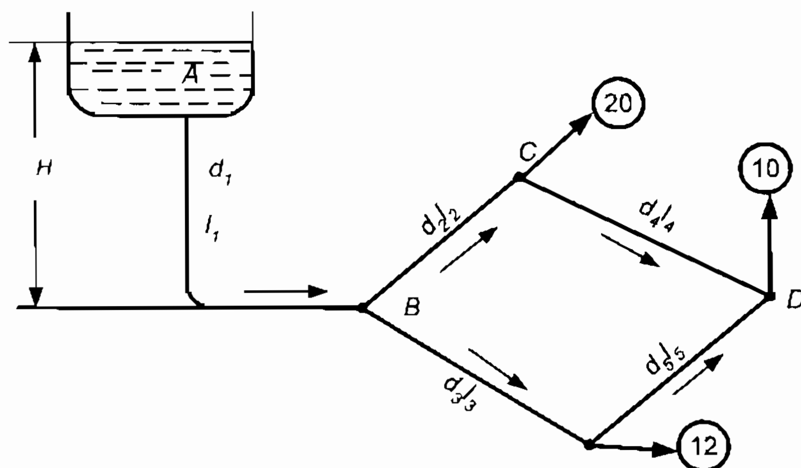
Lưu lượng ở các điểm C, D, E ghi ở hình vẽ.

Các số liệu cho: $d_1 = 250\ mm$; $d_2 = 200\ mm$; $d_3 = 150\ mm$; $d_4 = 80\ mm$; $d_5 = 100\ mm$; $l_1 = 800\ m$; $l_2 = 200\ m$; $l_3 = 300\ m$; $l_4 = 400\ m$; $l_5 = 500\ m$.

Cột áp tự do ở các điểm dùng nước là $5\ m$.

Bỏ qua tổn thất cục bộ.

Đáp số : $H = 18,28\ m$



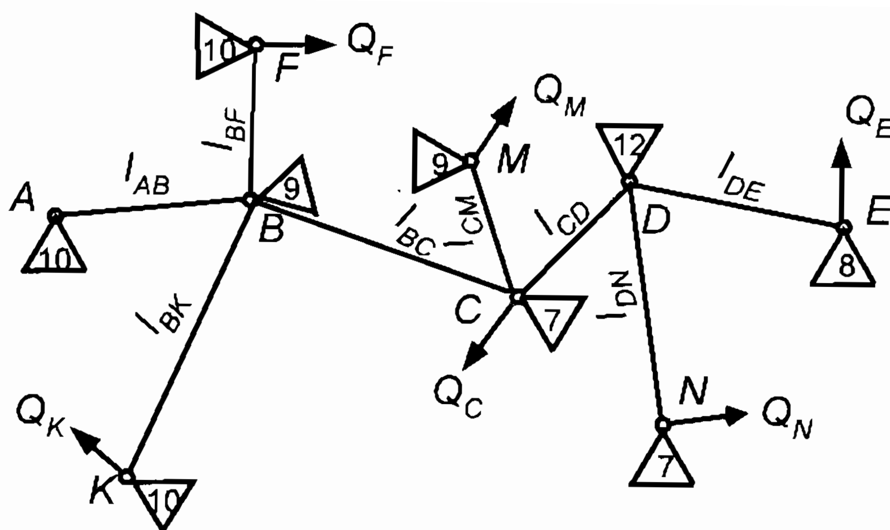
Bài tập 5-2

Xác định đường kính của tất cả các đoạn ống bằng gang của mạng lưới phân phối nước (hình vẽ), và tính cột áp cần thiết ở A, sao cho cột áp tự do ở các điểm dùng nước không nhỏ hơn $5\ m$.

Chiều dài các đoạn ống và lưu lượng các điểm dùng nước cho như sau: $l_{AB} = 500\ m$; $l_{BK} = 700\ m$; $l_{BF} = 300\ m$; $l_{BC} = 600\ m$; $l_{CM} = 250\ m$; $l_{CD} = 300\ m$; $l_{DN} = 600\ m$; $l_{DE} = 400\ m$; $Q_K = 10\ l/s$; $Q_M = 15\ l/s$; $Q_F = 5\ l/s$; $Q_C = 20\ l/s$; $Q_E = 5\ l/s$; $Q_N = 10\ l/s$.

Độ cao hình học tại các điểm ghi trong tam giác trên hình vẽ.

Đáp số: $d_{AB} = 300\ mm$; $d_{BC} = 250\ mm$; $d_{DC} = 150\ mm$;
$d_{DE} = 100\ mm$; $d_{BF} = 75\ mm$; $d_{BK} = 125\ mm$;
$d_{CM} = 125\ mm$; $d_{DN} = 125\ mm$; $H_A = 20,74\ m$.



Bài tập 5-3

Nước chảy với lưu lượng $Q = 95\ l/s$, trong đường ống thép dài $l = 100\ m$.

Xác định áp suất tăng lên trong ống, nếu đóng khoá ở cuối đường ống trong $0,1\ s$.

Thời gian đóng khoá là bao nhiêu, để áp suất trong ống không tăng quá $0,5\ at$. Đường kính ống $d = 300\ mm$.

Đáp số: $\Delta p = 1340\ kN/m^2$; $t = 5,5\ s$

Chương 6

DÒNG CHẢY QUA LỖ - VÒI - ĐẬP TRÀN

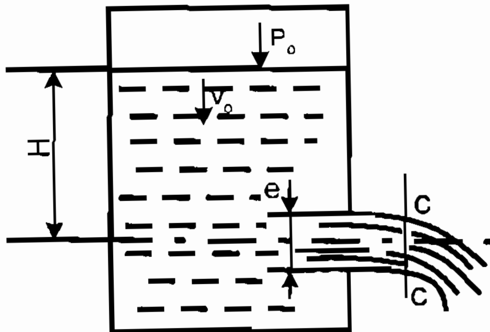
Trong thực tế thường gặp những trường hợp chảy qua lỗ, vòi như tháo nước, nhiên liệu từ bể, thùng chứa... nước hoặc chất lỏng khác chảy qua đập tràn để điều hoà mức nước hoặc đo lưu lượng...

Mục đích chính của tính toán thủy lực dòng chảy qua lỗ, vòi, đập tràn là xác định vận tốc và lưu lượng. Về thực chất bài toán này chỉ là sự áp dụng linh hoạt phương trình Becnuli, phương trình liên tục và cách tính tổn thất năng lượng trong những điều kiện ảnh hưởng đến tính chất dòng chảy.

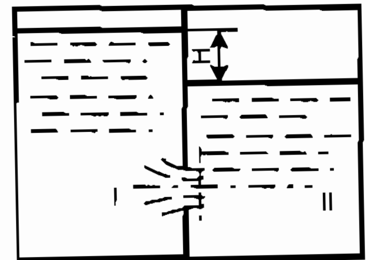
I. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN DÒNG CHẢY QUA LỖ - PHÂN LOẠI

1. Ảnh hưởng của môi trường bao quanh: Chảy tự do, chảy ngập

Tuỳ theo dòng chảy lỏng sau khi qua khỏi lỗ chảy vào môi trường khí hoặc vào môi trường chất lỏng ta gọi là chảy tự do (hình 6-1) hay chảy ngập (hình 6-2). Nếu chảy ngập, động năng của dòng chảy qua lỗ bị tiêu hao vào việc tạo nên những xoáy trong môi trường chất lỏng.



Hình 6-1. Chảy tự do qua lỗ



Hình 6-2. Chảy ngập qua lỗ

2. Ảnh hưởng của kích thước so sánh giữa lỗ và cột áp H trên lỗ: Lỗ nhỏ, lỗ to

Gọi d là kích thước đặc trưng cho lỗ, ta có:

Lỗ nhỏ khi $d < 0,1\ H$

Lỗ lớn khi $d \geq 0,1\ H$

Đối với lỗ nhỏ, cột áp H trên mọi điểm của lỗ có thể coi như bằng nhau.

Trái lại, đối với lỗ to, cột áp tại các điểm phía trên và phía dưới khác nhau rõ rệt.

3. Ảnh hưởng bề dày thành của lỗ: Lỗ thành mỏng, lỗ thành dày. Hiện tượng co hẹp dòng chảy

Tuỳ theo quan hệ kích thước so sánh giữa bề dày thành lỗ δ và dường kính d ta phân ra:

- *Lỗ thành mỏng*: $\delta < (3 \div 4)\ d$. Dòng chảy sau khi qua khỏi cạnh lỗ không tiếp xúc với thành của lỗ mà tiếp tục thu nhỏ mặt cắt, tạo nên hiện tượng co hẹp dòng chảy (hình 6-3). Ví dụ dòng chảy khỏi lỗ tam giác có dạng hình sao 3 cánh, chảy khỏi lỗ tròn có dạng hình elip.

Để đánh giá mức độ co hẹp dòng chảy, trong thủy lực dùng khái niệm hệ số co hẹp dòng chảy ε là tỷ số giữa diện tích mặt cắt co hẹp (ω_c) và mặt cắt lỗ (ω)

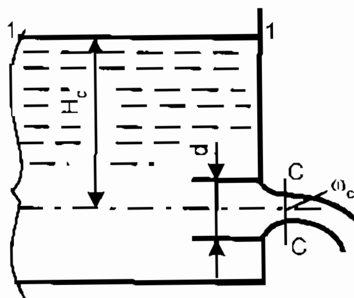
$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega} \qquad (6 - 1)$$

- *Lỗ thành dày*: $\delta \geq (3 \div 4)\ d$. Dòng chảy qua lỗ thành dày cũng có bị co hẹp, nhưng sau đó mở rộng ra và bám vào thành của lỗ, chảy đầy lỗ.

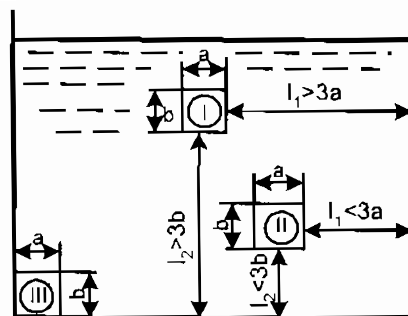
4. Ảnh hưởng vị trí lỗ trên thành bể chứa: Co hẹp hoàn chỉnh, không hoàn chỉnh

Tuỳ theo vị trí của lỗ xa hay gần các thành khác của bể chứa (thành bên hay đáy) sự co hẹp của dòng chảy sẽ hoàn chỉnh hay không hoàn chỉnh.

Nếu cạnh bên và đáy ở cạnh lỗ lớn hơn 3 lần kích thước của lỗ, dòng chảy qua khỏi lỗ sẽ bị co hẹp mức độ lớn và đồng đều về mọi phía: Ta gọi sự co hẹp này là hoàn chỉnh (Hình 6 - 4 - Lỗ I).



Hình 6-3. Dòng chảy co hẹp qua lỗ



Hình 6-4. Các vị trí lỗ ảnh hưởng đến điều kiện co hẹp

Ngược lại, lỗ càng gần các thành đáy bể chứa thì mức độ co hẹp càng giảm và sự co hẹp cũng không đồng đều theo mọi phía. Trường hợp này là co hẹp không hoàn chỉnh (Hình 6 - 4 - Lỗ II; III)

5. Ảnh hưởng của cột áp trên lỗ và số R_e

Với cột áp nhỏ, vận tốc qua lỗ nhỏ, số R_e nhỏ, ảnh hưởng của lực nhớt lớn nhiều so với lực quán tính. Đến mức độ nào đó sẽ không có hiện tượng thu hẹp. Nếu cột áp giảm dần, dòng chảy sẽ không ổn định.

Số R_e ảnh hưởng đến dòng chảy qua lỗ thông qua các hệ số vận tốc φ, hệ số lưu lượng μ, hệ số tổn thất của lỗ ζ mà sau này ta xét.

II. TÍNH TOÁN THỦY LỰC DÒNG CHẢY QUA LỖ NHỎ THÀNH MỎNG KHI CỘT ÁP KHÔNG ĐỔI

1. Tính toán thủy lực dòng chảy tự do

Quan sát dòng chảy qua lỗ nhỏ thành mỏng (Hình 6-3)

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt *1 - 1* và mặt cắt co hẹp dòng chảy *c - c*. Mặt chuẩn đi qua tâm mặt cắt co hẹp.

$$H_1 + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{\alpha_c v_c^2}{2g} + \frac{\zeta v_c^3}{2g} \qquad (6\text{-}1)$$

Trong đó: v_1 - Vận tốc trên mặt cắt 1 - 1

v_c - Vận tốc trên mặt cắt co hẹp

Để tính lưu lượng chảy qua lỗ lớn, thường dùng công thức: Đặt $H_0 = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ là cột nước toàn phần hay tỷ năng toàn phần trên trọng tâm lỗ.

Ta tính được v_c theo biểu thức sau:

$$v_c = \sqrt{\frac{1}{\alpha_c + \zeta}}\sqrt{2gH_0} = \varphi\sqrt{2gH_0} \qquad (6 - 2)$$

φ - Hệ số vận tốc, có thể xác định trực tiếp bằng thực nghiệm.

Lưu lượng dòng chảy qua lỗ :

$$Q = \omega_c v_c = \varepsilon\omega\varphi\sqrt{2gH_0} = \mu\omega\sqrt{2gH_0} \qquad (6 - 3)$$

μ - Là hệ số lưu lượng của lỗ, luôn < 1 (Lỗ co hẹp hoàn chỉnh $\mu = 0,60 \div 0,62$)

* Lưu ý: - Các hệ số ε , φ, μ phụ thuộc trước tiên vào loại lỗ, số R_e, tiêu chuẩn cơ bản của tương tự thuỷ động lực.

- Trường hợp áp suất trên mặt tự do của chất lỏng khác áp suất khí quyển ($P_0 > P_a$) thì công thức (6 - 2) và (6 - 3) có dạng:

$$v_c = \varphi\sqrt{2g\left(H_0 + \frac{P_0 - P_a}{\gamma}\right)} \qquad (6 - 4)$$

$$Q = \mu\omega\sqrt{2g\left(H_0 + \frac{P_0 - P_a}{\gamma}\right)} \qquad (6 - 5)$$

$$Q = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2g}\left(H_{o2}^{\ 3/2} - H_{o1}^{\ 3/2}\right)$$

Nhưng ở đây, hệ số lưu lượng của lỗ lớn (μ) dao động trong một khoảng rộng do nhiều yếu tố ảnh hưởng đến trị số của nó: kích thước và dạng lỗ, cột áp trên miệng lỗ, điều kiện chảy, co hẹp dòng chảy, đặc điểm gia công cạnh sắc... (có thể sử dụng bảng tính μ cuả Pavơlopski để chọn, tính toán lỗ).

2. Tính toán thủy lực dòng chảy ngập

Dòng chảy qua khỏi lỗ thành mỏng ngập dưới mặt nước, hình thành mặt cắt co hẹp c-c tại lỗ ra. Áp dụng phương trình Becnuli viết cho mặt cắt 1 - 1 và c - c, lấy mặt chuẩn qua trọng tâm lỗ (Hình 6 - 5).

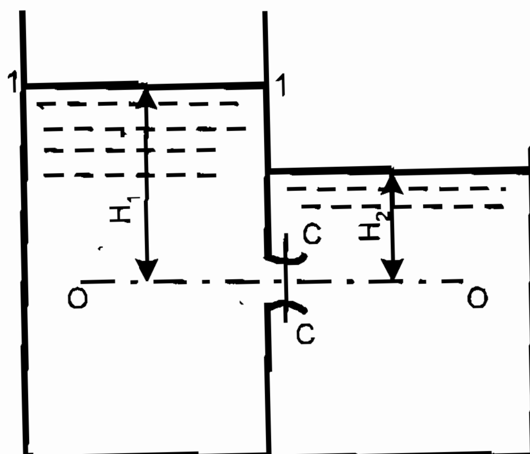
$$\frac{p_a}{\gamma}+\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}+H_1=\frac{p_c}{\gamma}+\frac{\alpha_c v_c^2}{2g}+\zeta\frac{v_c^2}{2g}$$

mà $\frac{p_c}{\gamma}=\frac{p_a}{\gamma}+H_2$

Do đó ta có:

$$\frac{p_a}{\gamma}+\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}+H_1=\frac{p_a}{\gamma}+H_2+\frac{\alpha_c v_c^2}{2g}+\zeta\frac{v_c^2}{2g}$$

Đặt $H_0=H_1+\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$



Hình 6 - 5. Dòng chảy ngập

Ta có: $H_0-H_2=(\alpha_c+\zeta)\frac{v_c^2}{2g}$

Vận tốc tại mặt cắt co hẹp c - c bằng:

$$v_c=\sqrt{\frac{1}{\alpha_c+\zeta}}\sqrt{2g(H_0-H_2)}=\varphi\sqrt{2g(H_0-H_2)} \qquad (6 - 6)$$

φ - Hệ số vận tốc

Lưu lượng dòng chảy qua lỗ:

$$Q = \omega_c v_c = \varepsilon\omega v_c = \varepsilon\varphi\omega\sqrt{2g(H_0 - H_2)} = \mu\omega\sqrt{2g(H_0 - H_2)} \quad (6 - 7)$$

μ - Hệ số lưu lượng (xác định như trường hợp dòng chảy tự do)

* Lưu ý: Đối với dòng chảy ngập cột áp toàn phần tác dụng lên lỗ bằng hiệu số cột áp ở thượng lưu và hạ lưu vì vậy không cần phân biệt lỗ to hay lỗ nhỏ.

III. TÍNH TOÁN THỦY LỰC DÒNG CHẢY QUA LỖ NHỎ THÀNH MỎNG KHI CỘT ÁP THAY ĐỔI

Trong trường hợp cột áp tác dụng lên lỗ thay đổi việc tính toán thủy lực phức tạp hơn vì dòng chảy ra khỏi lỗ không ổn định.

Xét một thùng chứa chất lỏng có mặt cắt không đổi qua lỗ (hoặc vòi) có mặt cắt ω, nước chảy vào khí quyển (hình 6 - 6). Vấn đề cần giải quyết là khi biết trước cột áp H_1, mặt cắt thùng Ω, phải xác định thời gian t để tháo nước một phần hay cả thùng nếu cho trước mặt cắt lỗ ω hoặc ngược lại cho trước thời gian t, phải xác định ω. Chẳng hạn cần phải xác định thời gian t để tháo nước từ H_1 xuống H_2. Nếu mực nước thay đổi từ H thì trong khoảng thời gian vô cùng nhỏ dt, nước trong bình sẽ hạ xuống một khoảng cách là dH. Cột nước H để tính lưu lượng xem như không đổi.

Ứng dụng công thức tính lưu lượng chảy qua lỗ khi cột áp không đổi:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_0}$$

Vi phân thể tích nước chảy ra khỏi thùng dw sau thời gian dt sẽ bằng:

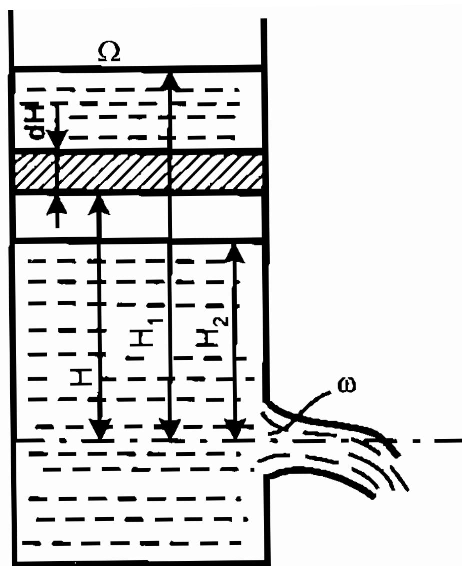
$$dw = \mu\omega\sqrt{2gH}.dt$$

Mặt khác: $dw = -\Omega dH$

Do đó ta có: $-\Omega dH = \mu\omega\sqrt{2gH}dt$

Rút ra: $dt = \dfrac{-\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2gH}}$

Tích phân phương trình trên từ H_1 đến H_2 ta được:



Hình 6 - 6

$$t = \int_{H_1}^{H_2} \frac{-\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2gH}} = \frac{2\Omega(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu\omega\sqrt{2g}} \quad (6 - 8)$$

Nếu tháo hết nước ra khỏi thùng $H_2 = 0$ thì ta có:

$$t = \frac{2\Omega\sqrt{H_1}}{\mu\omega\sqrt{2g}} = \frac{2\Omega H_1}{\mu\omega\sqrt{2gH_1}} = \frac{2w}{Q_1} \quad (6 - 9)$$

Trong đó: $w = \Omega H_1$ - Thể tích nước có ban đầu trong thùng.

$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_1}$ - Lưu lượng nước chảy ra khỏi thùng ở cột áp ban đầu H_1

Như vậy, thời gian tháo hết nước trong thùng khi cột nước giảm dần bằng 2 lần thời gian để tháo hết những lượng nước ấy nhưng cột áp không đổi và bằng H_1.

IV. TÍNH TOÁN THỦY LỰC DÒNG CHẢY QUA VÒI

1. Phân loại và công dụng của vòi

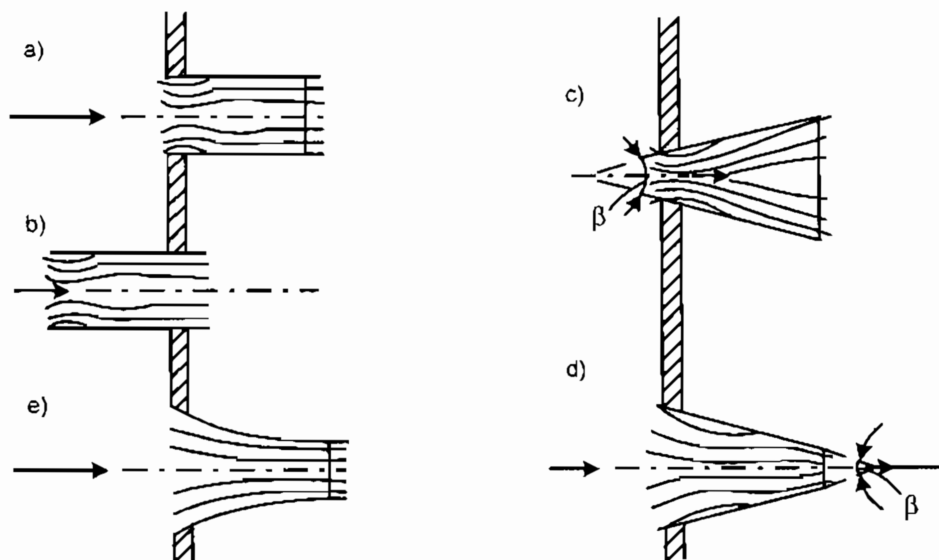
Vòi là những ống ngắn gắn vào trong thành mỏng. Chiều dài của ống $l \geq 3 \div 4$ lần đường kính d.

Dòng chảy qua vòi nói chung cũng bị co hẹp sau mặt cắt vào một ít (khoảng $0,5d$), nhưng qua khỏi mặt cắt co hẹp, dòng chảy mở rộng ra và bám vào thành vòi. Quanh mặt cắt co hẹp có hiện tượng chân không.

Sau đây giới thiệu một số loại vòi thường gặp và công dụng cơ bản của chúng (hình 6 -7).

- Vòi trụ tròn (gắn trong hoặc ngoài - Hình 6 -7 a,b). Loại này thường dùng để tháo chất lỏng trong bể chứa.

- Vòi hình nón cụt mở rộng (Hình 6 - 7 c). Loại vòi này vẫn có hiện tượng co hẹp và chân không. Độ chân không tỷ lệ với độ lớn của góc mở rộng β, nhưng nếu lớn quá thì dòng chảy bị tách ra khỏi thành và không khí bên ngoài sẽ lọt vào phá hoại chân không làm cho dòng chảy giống dòng chảy qua lỗ (thực nghiệm cho thấy $\beta = 5^0 \div 7^0$ là tốt nhất). Loại vòi này tháo được lưu lượng lớn, vận tốc chảy ra nhỏ nên nó được ứng dụng ở những trường hợp cần có độ chân không lớn (máy bơm phun tia) và cần có vận tốc nhỏ (máy tưới phun mưa).



Hình 6-7. Một số loại vòi thường gặp

- Vòi hình nón cụt thu hẹp (Hình 6 - 7d). Động năng của dòng chảy ra khỏi vòi khá lớn nên nó thường được sử dụng trong các thiết bị chữa cháy, trong tua bin xung kích, súng thủy lực đào đất, rửa quặng... Góc thu hẹp tốt nhất $\beta = 13^0\ 24'$

- Vòi lưu tuyến (Hình 6 - 7e). Hình dạng của vòi giống như hình dạng bó đường dòng trong vùng lân cận lỗ, không gây hiện tượng co hẹp, rất ít cản trở dòng chảy. Vì vậy, hệ số lưu lượng của vòi lưu tuyến lớn hơn tất cả các vòi khác.

2. Tính toán thủy lực vòi trụ tròn gắn ngoài, chảy ổn định không ngập

Tượng tự như dòng chảy qua lỗ, ta dùng công thức sau đây để tính vận tốc và lưu lượng chảy qua vòi:

$$v = \varphi\sqrt{2gH_0} \quad ; \quad \varphi = \sqrt{\frac{1}{\alpha_c + \sum\zeta}}$$

$\sum\zeta$ - Là tổng số các hệ số cản trong vòi gồm có hệ số cản do thu hẹp đột ngột chảy vào vòi và hệ số cản do mở rộng đột ngột chỗ mặt cắt co hẹp. Vì chiều dài vòi nhỏ nên bỏ qua tổn thất dọc đường.

$$Q = \zeta\omega\varphi\sqrt{2gH_0} = \mu\omega\sqrt{2gH_0}$$

Các hệ số kháng $\sum\zeta$, hệ số co hẹp ε, hệ số vận tốc φ và hệ số lưu lượng μ cho ở bảng 6 - 1 (Tính cho mặt cắt ra của vòi).

Bảng 6 - 1

Loại vòi	$\sum\zeta$	ε	φ	μ
Vòi trụ tròn gắn ngoài	0,50	1,00	0,82	0,82
Vòi trụ tròn gắn trong	1,00	1,00	0,77	0,71
Vòi nón cụt mở rộng $\alpha = 5^0 \div 7^0$	$4 \div 3$	1,00	$0,45 \div 0,50$	$0,45 \div 0,50$
Vòi nón cụt thu hẹp $\alpha = 13^0 24'$	0,09	0,98	0,95	0,94
Vòi lưu tuyến	0,04	1,00	0,98	0,98

Xác định độ chân không trong vòi.

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt c - c và b - b (Hình 6 -8).

Ta lấy $\alpha_c = \alpha_b = 1$

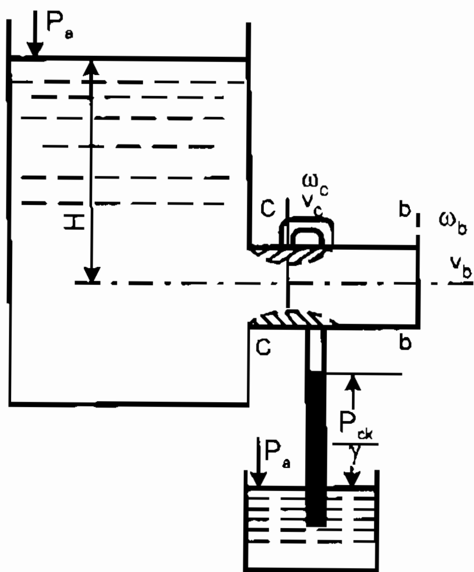
$$\frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_b^2}{2g} + \zeta\frac{v_b^2}{2g} \qquad (6\text{-}10)$$

$$\frac{p_a - p_c}{\gamma} = \frac{v_c^2}{2g} - \frac{v_b^2}{2g}(1+\zeta)$$

Vì $\omega_c = \varepsilon\omega$

Theo nguyên lý liên tục của dòng chảy: $\omega_c\, v_c = \omega_b\, v_b$

nên $v_c = v_b . \dfrac{\omega_b}{\omega_c} = v_b \dfrac{1}{\varepsilon}$



Hình 6- 8. Sơ đồ tính vòi trụ tròn gắn ngoài chảy ổn định không ngập

Thay v_c vào (6 - 10) ta có:

$$h_{ck} = \frac{p_a - p_c}{\gamma} = \frac{v_b^2}{2g\varepsilon^2} - \frac{v_b^2}{2g}(1+\zeta) = \frac{v_b^2}{2g}(\frac{1}{\varepsilon^2} - 1 - \zeta)$$

mà $V_b = \varphi\sqrt{2gH_0}$ thay vào phương trình trên ta được:

$$h_{ck} = \varphi^2 H_0 \left(\frac{1}{\varepsilon^2} - 1 - \zeta\right) \qquad (6 - 11)$$

Thay các giá trị φ, ζ , μ, ε từ bảng 6 -1, đối với vòi trụ tròn gắn ngoài ta tính được:

$$h_{ck} = 0{,}764\ H_0$$

Qua đó ta nhận thấy rằng, độ chân không trong và ngoài vòi có một giá trị giới hạn nhất định. Ứng với một nhiệt độ nhất định của chất lỏng, áp suất tại vùng chân không trong vòi nhỏ hơn áp suất bay hơi bão hoà thì sẽ xuất hiện

hiện tượng xâm thực trong vòi làm ảnh hưởng khả năng chảy và độ bền vật liệu chế tạo vòi.

V. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 6-1

Nước từ bình hở chảy qua lỗ tròn thành mỏng. Xác định lưu lượng Q và vận tốc v nếu cột áp trên trọng tâm lỗ $H = 2,5\ m$, mặt cắt lỗ $\omega = 8\ cm^2$.

Lưu lượng nước sẽ thay đổi bao nhiêu nếu nối vào lỗ một ống hình trụ bên ngoài dài *6 cm* và sau đó thay vòi dài *14 cm.*

Giải:

Xác định vận tốc v_c theo công thức (6 - 4), khi:

$p_1 = p_2 = p_a$ *và* $h = H$

$$v_c = \varphi\sqrt{2gH}$$

Theo bảng (6-2), xác định được hệ số $\varphi = 0,97$, tính vận tốc v_c ở mặt cắt co hẹp:

$$v_c = 0,97\sqrt{2.9,81.2.5} = 6,79\,\text{m/s}$$

Xác định lưu lượng theo công thức (6-3), lấy $\mu = 0,62$ và $H_0 = H = 2,5\ m$, ta có:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_0} = 0,62.0,0008.\sqrt{2.9,81.2.5} = 0,00348\,\text{m}^3\text{/s} \quad = 3,48\,l/s$$

Vận tốc dòng chảy ra khỏi lỗ:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,00348}{0,0008} = 4,35\,\text{m/s}$$

Bây giờ ta xem lưu lượng sẽ thay đổi như thế nào khi ta nối vòi vào.

Xác định đường kính lỗ hay vòi:

$$d = \sqrt{\frac{4.\omega}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.8}{3,14}} = 3,2\ cm$$

Trong trường hợp thứ nhất, chiều dài ống *6 cm*, nhỏ hơn $4d = 4.3,2 = 12,8$ *cm*. Đó là dòng chảy qua lỗ thành mỏng, có hệ số lưu lượng là $\mu = 0,62$. Do đó trị số lưu lượng không đổi.

Trong trường hợp thứ hai, chiều dài ống *14 cm*, lớn hơn $4d = 4.3,2 = 12,8$ *cm*. Như vậy là chảy qua vòi trụ tròn bên ngoài, có hệ số lưu lượng là $\mu = 0,82$ và lưu lượng cũng như vận tốc sẽ tăng $0,82 : 0,62 = 1,32$ lần và bằng:

$Q' = 1,32\ Q = 1,32.3,48 = 4,59\ l/s$

$v' = 1,32\ v = 1,32.4,35 = 5,73\ m/s$

Ví dụ 6-2

Trong bể chứa có ba ngăn có 2 lỗ tròn thành mỏng $\omega_1 = 2\ cm^2$ và $\omega_2 = 3\ cm^2$, để nước chảy qua các ngăn. Phía ngoài đặt khoá nước $\omega_3 = 3\ cm^2$

Xác định lưu lượng Q và mực nước trong các ngăn, nếu mực nước trên ngăn thứ nhất là không đổi và nước chảy vào khí quyển, cột áp $H = 3\ m$.

Giải:

Trường hợp ta xét ở đây là chảy ổn định, cột áp không đổi và theo nguyên lý liên tục của dòng chảy, lưu lượng của tất cả các lỗ là bằng nhau.

Từ phương trình (6-3), ta tính được cột áp của mỗi lỗ:

$$h_1 = \frac{Q^2}{\mu_1^2 \omega_1^2 2g}; \qquad h_2 = \frac{Q^2}{\mu_2^2 \omega_2^2 2g}; \qquad h_3 = \frac{Q^2}{\mu_3^2 \omega_3^2 2g}$$

Tổng cột áp của tất cả các lỗ:

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

Hay là:

$$H = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\mu_1^2\omega_1^2} + \frac{1}{\mu_2^2\omega_2^2} + \frac{1}{\mu_3^2\omega_3^2}\right)$$

Ta lấy các hệ số lưu lượng của lỗ 1 và lỗ 2 bằng 0,62 và lỗ thứ 3 bằng 0,82. Thay các trị số vào phương trình trên và tính lưu lượng:

$$Q = \frac{\sqrt{2.9,81.300}}{\sqrt{\frac{1}{0,62^2.2^2} + \frac{1}{0,62^2.3^2} + \frac{1}{0,82^2.3^2}}} = 7300\ cm^3/s = 7,3\ l/s$$

Xác định trị số cột áp trên mỗi lỗ:

$$h_1 = \frac{7300^2}{19,62}.\frac{1}{0,62^2.2^2} = 175\ cm$$

$$h_2 = \frac{7300^2}{19{,}62} \cdot \frac{1}{0{,}62^2.3^2} = 79\ cm$$

$$h_3 = \frac{7300^2}{19{,}62} \cdot \frac{1}{0{,}82^2.3^2} = 46\ cm$$

Kiểm tra lại kết quả đã tính được:

$$h_1 + h_2 + h_3 = H = 175 + 79 + 46 = 300\ cm$$

Ví dụ 6-3

Có một bể chứa hình trụ, đường kính D = 2 m, cao H = 4 m. Ở đáy có lỗ tháo nước, đường kính d = 20 mm.

Xác định thời gian để tháo nước được một lớp dày 2 m.

Giải:

Xác định thời gian t để tháo nước theo công thức (6-8)

$$t = \frac{2\Omega(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu\omega\sqrt{2g}}$$

Ta tính diện tích Ω của bể chứa:

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3{,}14.2^2}{4} = 3{,}14 m^2$$

Diện tích ω của lỗ:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14.2^2}{4} = 3{,}14 cm^2 = 0{,}000314 m^2$$

Lấy hệ số lưu lượng $\mu = 0{,}82$.

Thay vào công thức tính thời gian tháo nước ở trên ta có:

$$t = \frac{2.3{,}14(\sqrt{4} - \sqrt{2})}{0{,}82.3{,}14.10^{-4}\sqrt{29{,}81}} = 1625 s = 25 ph\ 5 giay$$

Bài tập 6-1

Trong bể chứa có lỗ thành bên, đường kính $d = 25\ mm$. Nước chảy vào bể với lưu lượng Q = 4 m^3/h.

Xác định mực nước H trong bể cao bao nhiêu thì ổn định.

Đáp số : $H = 689\ mm$

Bài tập 6-2

Có một bể chứa nước, ở độ sâu H = 0,5 m, có lỗ tháo d = 75 mm. Áp suất dư trong bể chứa $p_0 = 0,2\ at$.

Xác định lưu lượng nước tăng lên bao nhiêu, nếu nối vào một vòi trụ tròn.

Đáp số: $\Delta Q = 22,35\ m^3/h$

Bài tập 6-3

Từ một bể chứa hình trụ, đường kính $D = 1,5\ m$. Cột áp ban đầu $H_1 = 0,9m$, nước chảy qua vòi hình trụ đường kính $d = 50\ mm$, dài $l = 200\ mm$, đặt cách đáy bể chứa $h = 200\ mm$.

Xác định thời gian sau khi mở vòi để mực nước $H_2 = 0$. Thời gian là bao nhiêu nếu đặt vòi ở đáy bể chứa cũng để chảy ra lượng nước như trên.

Đáp số : $t_1 = 470\ s$; $t_2 = 250\ s$

Chương 7

DÒNG CHẢY ĐỀU TRONG KÊNH HỞ

I. KHÁI NIỆM - PHÂN LOẠI

Kênh là dòng chảy nhân tạo có nhiều hình dạng khác nhau. Thông thường thì nước trong kênh có mặt thoáng tiếp xúc với khí quyển (áp suất dư trên mặt thoáng bằng 0).

Dòng chảy đều không áp trong kênh trước hết phải đảm bảo điều kiện của dòng chảy đều nói chung: Lưu lượng, hình dạng và diện tích mặt cắt ướt, biểu đồ phân bố trên mặt cắt ướt, độ dốc đáy, độ nhám lòng kênh không đổi dọc theo dòng chảy và theo thời gian. Nhưng vì dòng chảy đều không áp có mặt thoáng nên phải thêm một điều kiện nữa là độ sâu h của dòng chảy không đổi và do đó việc tính toán thủy lực cho dòng chảy đều không áp phức tạp thêm.

Kênh được ứng dụng nhiều trong các ngành kinh tế quốc dân khác nhau. Trong nông nghiệp kênh dùng trong các hệ thống thuỷ nông để tưới, tiêu nước cho cây trồng; kênh dẫn thoát nước trong nhà máy thuỷ điện; trong giao thông vận tải kênh dùng để cho tàu thuyền đi lại; kênh cấp thoát nước trong công nghiệp, sinh hoạt...

Tuỳ theo nhiệm vụ, kích thước của kênh và đặc tính của đất, vật liệu xây dựng kênh mà mặt cắt của kênh có nhiều hình dạng khác nhau: hình Parabol, tam giác, chữ nhật, hình thang... (hình 7-1).

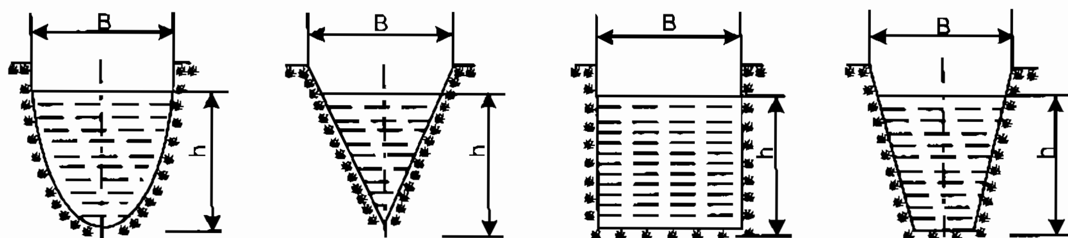
Vận tốc cho phép của kênh phải đảm bảo các yêu cầu sau:

1- Vận tốc chảy trong kênh không được gây ra lở xói sườn kênh và lòng kênh, nghĩa là không được vượt quá vận tốc giới hạn lở xói. Trị số của nó phụ thuộc vào tính chất của đất hoặc vật liệu làm kênh.

2- Vận tốc trong kênh không được gây ra bồi lắng lòng kênh bằng phù sa, nghĩa là không được nhỏ hơn vận tốc giới hạn bồi lắng, phụ thuộc vào số lượng và độ lớn của phù sa và cả dạng của mặt cắt kênh.

Vận tốc trong kênh cũng không cho phép vận tốc làm lắng đọng cỏ dại hoặc rong rêu trong kênh.

Trị số vận tốc giới hạn cho phép thường được tính toán sẵn trong các sổ tay tính toán về thủy lực.



Hình 7-1

II. NHỮNG CÔNG THỨC CƠ BẢN TRONG TÍNH TOÁN THỦY LỰC VỀ KÊNH HÌNH THANG - MẶT CẮT LỢI NHẤT VỀ MẶT THỦY LỰC

1. Những công thức cơ bản trong tính toán thủy lực về kênh hình thang

Dòng chảy trong kênh là dòng chảy đều không áp nên các độ dốc hình học, độ dốc đo áp, độ dốc thủy lực bằng nhau:

$$i = I = J$$

và phần lớn là trường hợp chảy rối nên ta ứng dụng được công thức Sêdi để tính vận tốc trung bình v:

$$v = C\sqrt{RJ}$$

và tính lưu lượng Q:

$$Q = \omega C\sqrt{RJ} = K\sqrt{J} \qquad (7\text{-}1)$$

hay:

$$i = J = \frac{v^2}{C^2R} = \frac{Q^2}{\omega^2C^2R} = \frac{Q^2}{K^2}$$

Ở kênh hình thang (hình 7-2) diện tích ω của mặt cắt kênh được tính như sau:

$$\omega = \frac{b+B}{2}h = bh + mh^2 = h(b+mh) \qquad (7\text{-}2)$$

Trong đó: b- chiều rộng đáy kênh;

B- chiều rộng mặt kênh;

h- độ sâu ngập nước của kênh;

$m = a/h = cotg\varphi$.- hệ số mái sườn kênh

Chu vi ướt của kênh:

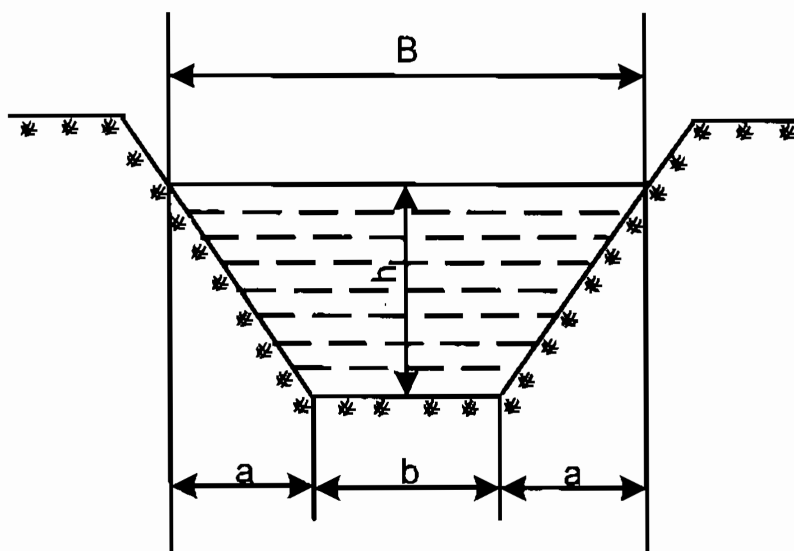
$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \qquad (7\text{-}3)$$

Bán kính thủy lực của kênh :

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h(b + mh)}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}} \qquad (7\text{-}4)$$

Nếu đặt $b/h = \beta$ thì (7-2), (7-3), (7-4) có dạng sau:

$$\omega = (\beta + m)h^2 \qquad (7\text{-}5)$$



Hình 7-2

$$\chi = \left(\beta + 2\sqrt{1 + m^2}\right)h \qquad (7\text{-}6)$$

$$R = \frac{(\beta + m)h}{\beta + 2\sqrt{1 + m^2}} \qquad (7\text{-}7)$$

2. Mặt cắt lợi nhất về mặt thủy lực của kênh hình thang

Mặt cắt lợi nhất về mặt thủy lực của kênh hình thang là mặt cắt với một diện tích cho trước, cùng độ dốc đáy và độ nhám lòng kênh cho lưu lượng lớn nhất. Hay nói cách khác là mặt cắt có bán kính thủy lực lớn nhất và chu vi ướt nhỏ nhất. Khi thiết kế cố gắng làm sao để mặt cắt kênh gần đúng với mặt cắt lợi nhất về thủy lực.

Từ (7-2) ta xác định được chiều rộng đáy kênh b:

$$R = \frac{\omega}{h} - mh$$

Thay vào (7-3) ta có:

$$\chi = \frac{\omega}{h} - mh + 2h\sqrt{1+m^2}$$

Khi $\omega = const$ ta có $\chi = f(h)$, để $\chi = min$ khi $\dfrac{d\chi}{dh} = 0$

Và ta xác định được β cho mặt cắt có lợi nhất về mặt thủy lực, ký hiệu là β_{ln}:

$$\beta_{ln} = 2\left(\sqrt{1+m^2} - m\right) \qquad (7\text{-}8)$$

Trong bảng (7-1) ghi giá trị β_{ln} phụ thuộc vào hệ số mái m:

Bảng 7-1

m	0	1,0	1,5	2,0	2,75	3,0
β_{ln}	2,00	0,828	0,606	0,472	0,385	0,325

Bán kính thủy lực của mặt cắt lợi nhất:

$$R_{ln} = \frac{\omega}{\chi_{ln}} = \frac{h^2(\beta_{ln} + m)}{h\left(\beta_{ln} + 2\sqrt{1+m^2}\right)} = \frac{h}{2} \qquad (7\text{-}9)$$

Ta thấy bán kính thủy lực của mặt cắt lợi nhất bằng một nửa độ sâu ngập nước. Nhưng kênh hẹp quá thường không tiện cho việc xây dựng cũng như trong sử dụng. Vì thế, khi thiết kế kênh phải đi ngược lại từ mặt cắt lợi nhất về thủy lực và tính đến chiều rộng lớn hơn của kênh.

III. MỘT SỐ BÀI TOÁN CƠ BẢN THƯỜNG GẶP TRONG TÍNH TOÁN THỦY LỰC VỀ KÊNH HÌNH THANG

Từ công thức (7-1) trong những điều kiện cụ thể, tính toán thủy lực về kênh có thể chia ra hai loại bài toán cơ bản sau:

1. Đối với kênh đã biết

Nhiệm vụ là phải xác định một trong 6 đại lượng đã nêu trên khi đã biết 5 đại lượng:

a) Cho i, b, h, m, n - xác định Q

Tính ω, R theo (7-2), (7-4) và C thay vào (7-1) tìm Q.

b) Cho Q, b, h, m, n - xác định i

Tính ω, R, C như trên rồi thay vào (7-1) để tìm i:

$$i = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R^2}$$

2. Thiết kế kênh mới

Trong trường hợp này thông thường đã biết tài liệu về địa hình, về vật liệu làm kênh và lưu lượng cần dẫn đi trong kênh. Từ bản đồ địa hình ta tiến hành chọn tuyến kênh và độ dốc đáy i sao cho phù hợp nhất với những yêu cầu về thủy lực và kinh tế. Căn cứ vào vật liệu làm kênh ta xác định hệ số mái m và hệ số nhám n của lòng kênh. Nhiệm vụ là phải xác định kích thước mặt cắt kênh để dẫn được một lưu lượng cho trước.

Bài toán này theo (7-1) ta có một phương trình hai ẩn số, vì vậy muốn giải được ta phải chọn trước một nghiệm, tức là chọn trước một kích thước kênh hoặc tìm thêm một mối quan hệ giữa b và h bằng một phương trình nữa. Ta có thể gặp 3 bài toán cơ bản sau đây:

a) Cho trước b, xác định h

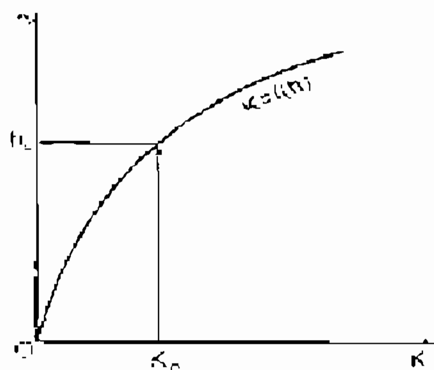
Lúc này phương trình (7-1) chỉ còn 1 ẩn h, nhưng trực tiếp rút h từ (7-1) là một việc rất phức tạp nên ta áp dụng phương pháp thử dần để giải bài toán này. Một mặt, ta tự chọn trị số h rồi tính ra ω, C, R, K tương ứng. Mặt khác ta có $K_o = \dfrac{Q}{\sqrt{J}}$.

Vậy trị số h phải tìm là trị số có K tương ứng với nó bằng trị số K_o.

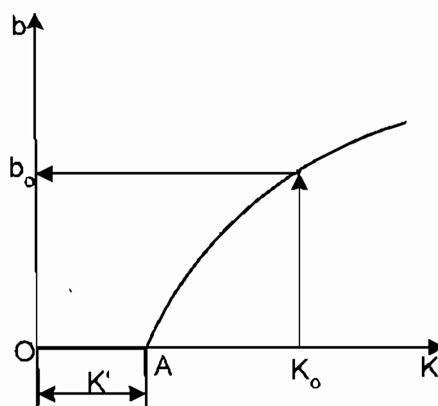
Để tính toán nhanh chóng hơn ta có thể giải bài toán bằng phương pháp đồ thị.

Tự cho vài trị số h rồi tính K để vẽ ra đường cong $K = f(h)$ (hình 7-3).

Từ trị số K_o đã biết ta xác định trên đường cong điểm có trị số h_o phải tìm. Bài toán này luôn luôn có nghiệm với bất cứ trị số K_o nào.



Hình 7-3



Hình 7-4

Trường hợp chọn trước h, xác định b từ (7-1) K là một hàm số của b: $K = f(b)$.

Ta tiến hành giải bài toán hoàn toàn tương tự như trường hợp tìm h ở trên. Nhưng chú ý rằng đường cong $K = f(b)$ trên tọa độ (K,b) không đi qua gốc toạ độ mà cắt trục OK tại A (hình 7-4). Đoạn OA tương ứng trị số K' của kênh có mặt cắt hình tam giác $(b = 0)$. Vậy bài toán chỉ có lời giải với các trị số $K_o > K'$.

b) Tự chọn trước $\beta = \dfrac{b}{h}$ *- xác định b, h*

Nếu thay $b = \beta h$ và $m = a/h$ thì (7-1) sẽ có một phương trình 1 ẩn là b hoặc h. Bài toán trở về trường hợp trên. Có thể chọn β theo β_{ln} và khi đó phương trình thứ hai là (7-8).

c) Cho trước R hoặc v - xác định b, h

- Giả sử cho biết R

Từ (7-1) ta có:
$$\omega = \frac{Q}{C\sqrt{RJ}}$$

Mặt khác:
$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

Vậy ta có hệ phương trình với hai ẩn số b và h sau:

$$\begin{cases}(b+mh)h=\omega \\ b+2h\sqrt{1+m^2}=\dfrac{\omega}{R}\end{cases} \qquad (7\text{-}10)$$

Giải hệ phương trình trên ta sẽ tìm được b và h.

- Giả sử cho biết v:

Từ công thức Sêdi $v=C\sqrt{RJ}$ ta viết được:

$$C\sqrt{R}=\frac{1}{n}R^{y+0,5}=\frac{v}{\sqrt{J}}$$

Biết $\dfrac{v}{\sqrt{J}}$ và n đồng thời xác định được y ta tìm được R.

Trị số y có thể lấy theo công thức của Manning hoặc Pavơlôpxki để tính R (xem phụ lục).

Sau khi có R, bài toán trở về trường hợp trên và giải hệ phương trình (7-10).

Ta biết rằng trong mặt cắt có lợi nhất về thủy lực trị số R_{ln} và v_{ln} lớn nhất và ω_{ln} nhỏ nhất. Như vậy bài toán chỉ có lời giải nếu như trị số cho trước R và v nhỏ hơn R_{ln} và v_{ln} của mặt cắt có lợi nhất về thủy lực.

IV. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 7 -1

Xác định vận tốc trung bình và lưu lượng của kênh hình thang bằng đất. Chiều rộng đáy kênh $b = 2,0\ m$; chiều sâu ngập nước $h = 1,3\ m$; hệ số mái $m = 1,5\ m$; hệ số nhám $n = 0,025$; độ dốc $i = 0,001$.

Vận tốc và lưu lượng sẽ thay đổi thế nào nếu mặt cắt kênh có dạng mặt cắt thủy lực lợi nhất.

Giải:

Xác định mặt cắt ướt của kênh:

$\omega = (b + mh)h = (2,0 + 1,5.1,3).1,3 = 5,13\ m^2$

Tính chu vi ướt theo công thức (7-3), và xác định bán kính thủy lực:

$$R=\frac{\omega}{\chi}=\frac{\omega}{b+2h\sqrt{1+m^2}}=\frac{5,13}{2+21,3\sqrt{1+1,5^2}}=0,766\ m$$

Hệ số Sêzi C xác định theo phụ lục 2, ta có $C = 37,5\ m$

Thay những số tính được vào công thức tính vận tốc ta có:

$$v = 37,5.\sqrt{0,766.0,001} = 1,04 m/s$$

Và lưu lượng Q:

$$Q = \omega.v = 5,13.1,04 = 5,23\ m^2/s$$

Bây giờ giải quyết nhiệm vụ thứ 2 của bài toán. Mặt cắt thủy lực lợi nhất có tỷ số b/h :

$$\frac{b}{h} = 2\left(\sqrt{1+m^2} - m\right)$$

Thay số vào ta có:

$$\frac{b}{h} = 2\left(\sqrt{1+1,5^2} - 1,5\right) = 0,61$$

Thay $b = 0,61.h$ vào công thức tính ω, ta có:

$$\omega = (0,61.h + 1,5.h) = 2,11\ h^2$$

Vậy $$h = \sqrt{\frac{\omega}{2,11}} = \sqrt{\frac{5,13}{2,11}} = 1,56\ m$$

Và chiều rộng đáy kênh b:

$$B = 0,61.h = 0,61.1,56 = 0,95\ m$$

Tính bán kính thủy lực:

$$R = \frac{\omega}{b + 2h\sqrt{1+m^2}} = \frac{5,13}{0,95 + 2.1,56\sqrt{1+1,5^2}} = 0,78\ m$$

Căn cứ vào phụ lục 2, ứng với hệ số nhám $n = 0,025$ và bán kính thủy lực $R = 0,78\ m$, xác định được hệ số $C = 37,8$.

Bây giờ có thể tính được vận tốc:

$$v = 37,8.\sqrt{0,78.0,001} = 1,06\ m/s$$

So sánh vận tốc chảy ứng với mặt cắt thủy lực lợi nhất với vận tốc ban đầu ta thấy tăng được 2%. Do đó lưu lượng cũng tăng thêm được 2%.

Bài tập 7-1

Xác định chiều rộng và độ dốc đáy kênh có mặt cắt chữ nhật lát bê tông ($n = 0,017$) để có lưu lượng $Q = 36\ m^3/s$; khi độ sâu ngập nước $h = 1,5\ m$ và vận tốc trung bình $v = 4,0\ m/s$.

Đáp số: $b = 6,0\ m;\ i = 0,00462$

Bài tập 7-2

Xác định lưu lượng nước chảy trong kênh hình thang lát gạch, có chiều rộng đáy kênh $b = 1,2\ m$; độ sâu ngập nước $h = 0,7\ m$; hệ số mái $m = 1$; độ dốc đáy kênh $i = 0,001$.

Xác định lưu lượng nước chảy qua kênh, nếu mặt cắt kênh có dạng nửa tròn, có cùng diện tích mặt cắt, độ nhám và độ dốc đáy kênh như nhau.

Đáp số: $Q_1 = 1,395\ m^3/s;\ Q_2 = 1,395\ m^3/s$

Bài tập 7-3

Xác định độ sâu ngập nước h của kênh hình thang có mặt cắt lợi nhất về mặt thủy lực, nếu chiều rộng đáy kênh $b = 0,6\ m$; hệ số mái $m = 2$; hệ số nhám $n = 0,035$; độ dốc đáy kênh $i = 0,005$.

Xác định lưu lượng nước chảy qua kênh.

Đáp số: $h = 1,275\ m;\ Q = 5,421\ m^3/s$

Bài tập 7-4

Một kênh hình thang có mặt cắt thủy lực lợi nhất, độ sâu ngập nước $h = 1,64\ m$. Kênh làm bằng đất, hệ số mái $m = 1,5$; độ dốc đáy kênh $i = 0,004$; hệ số nhám $n = 0,025$. Kênh dẫn nước từ sông vào giếng của một trạm bơm.

Lưu lượng của kênh sẽ tăng lên bao nhiêu, nếu kênh được lát bê tông ($n = 0,017$) các kích thước khác của kênh không thay đổi.

Đáp số: *Tăng lên* $6,0\ m^3/s$

Bài tập 7-5

Xác định độ sâu ngập nước của một ống dẫn bằng bê tông, mặt cắt tròn có đường kính $d = 1,2\ m$; độ dốc đáy kênh $i = 0,008$; lưu lượng của kênh $Q = 2,25\ m^3/s$.

Đáp số: $h = 0,84\ m$

Chương 8

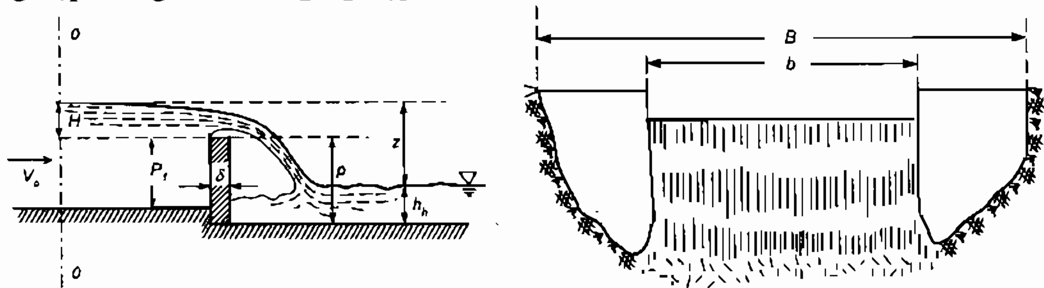
ĐẬP TRÀN

I. KHÁI NIỆM CHUNG - PHÂN LOẠI

1. Khái niệm

Những công trình nhân tạo ngăn cản dòng chảy và làm cho dòng chảy phải tràn qua gọi là đập tràn.

Đập tràn được ứng dụng rộng rãi trong các ngành thuỷ lợi, thuỷ điện, nông nghiệp, công trình công nghiệp...



Hình 8-1

Các bộ phận cơ bản của đập tràn(Hình 8-1):

+ Chiều rộng đập tràn (b) là chiều dài đoạn nước tràn;

+ Chiều cao của đập so với đáy kênh hoặc sông thượng lưu (P_1);

+ Chiều cao của đập so với đáy hạ lưu (P);

+ Chiều dày của đỉnh đập (δ);

+ Cột nước tràn (H) là chiều cao mặt nước thượng lưu so với đỉnh đập, chiều cao này phải đo tại mặt cắt cách xa đỉnh đập một khoảng bằng (3 ÷ 5)H về phía thượng lưu, nơi mặt nước chưa bị hạ thấp trước khi tràn qua đập;

+ Chiều sâu hạ lưu (h_n);

+ Độ ngập hạ lưu (h_n);

$$h_n = h_h - P$$

2. Phân loại

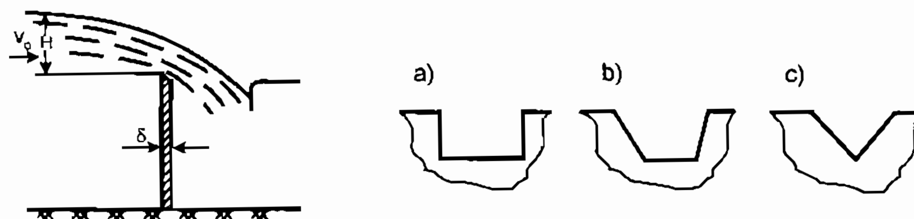
Đập tràn được phân làm nhiều loại tuỳ theo ảnh hưởng của hình dạng và kích thước của ngưỡng tràn đối với dòng chảy qua đập tràn.

a) Theo hình dạng mặt cắt đập:

- Đập tràn thành mỏng (Hình 8-2).

Có bề dày đỉnh tràn nhỏ, không ảnh hưởng gì đến dòng chảy qua đập. Thường quy định $\delta < 0,67\ H$. Nước tràn ngay sau khi qua mép thượng lưu của đỉnh đập thì tách khỏi đỉnh đập, không chạm vào toàn bộ mặt đập.

Loại đập tràn thành mỏng thường được dùng trong phòng thí nghiệm để đo lưu lượng dòng chảy.

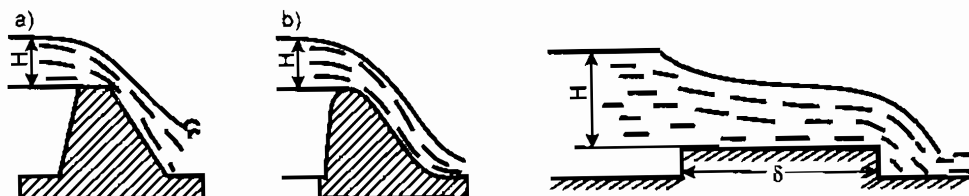


Hình 8 - 2

- Đập tràn mặt cắt thực dụng: Có bề dày đỉnh tràn khá lớn, ảnh hưởng đến dòng chảy qua đập. Thường quy định đập tràn có bề dày δ trong giới hạn $0,67H \leq \delta \leq 3\ H$ là đập tràn mặt cắt thực dụng.

Có 2 loại đập tràn thực dụng: Đập tràn thực dụng hình cong (Hình 8 - 3b) và đập tràn thực dụng hình đa giác (Hình 8 - 3a)

Đập tràn thực dụng là loại phổ biến nhất trong thực tế xây dựng các công trình thuỷ lợi, thuỷ điện, cung cấp nước.... Nó có thể được làm bằng mọi vật liệu như gỗ, đá, bê tông... Tính chất của đập tràn ổn định hơn về mặt chịu lực.



Hình 8 - 3 *Hình 8 - 4*

3. Đập tràn đỉnh rộng: Chiều dài ngưỡng tràn δ khá lớn, ảnh hưởng đến dòng chảy qua nó. Dòng chảy qua ngưỡng tràn là dòng biến đổi chậm (các đường dòng hầu như song song với nhau). Thường quy định khi: $3H \leq \delta \leq 10H$ đập tràn thuộc loại đập tràn đỉnh rộng (Hình 8 - 4).

b) Theo hình dạng cửa tràn:

- Đập tràn cửa chữ nhật;
- Đập tràn cửa hình thang;
- Đập tràn cửa hình tam giác... (Hình 8 - 2).

c- Theo hình dạng tuyến đập tràn trên mặt bằng:

- Đập thẳng;
- Đập cong...

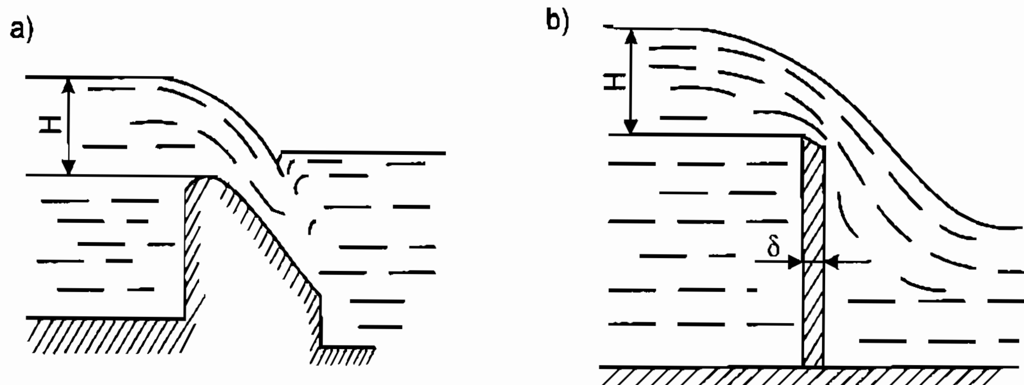
d) Theo hướng của đập so với hướng dòng chảy

- Đập đặt thẳng góc với dòng chảy;
- Đập đặt xiên;
- Đập bên, đặt ở một bên bờ song song với dòng chính.

e) Ảnh hưởng của mực nước hạ lưu đối với khả năng tháo nước của đập:

- Chảy không ngập (hình 8-5b). Khi mực nước hạ lưu còn thấp hơn đỉnh đập hoặc cao hơn đỉnh đập, nhưng chưa ảnh hưởng đến hình dạng làn nước tràn và khả năng tháo nước của đập.

- Chảy ngập (Hình 8-5a). Khi mực nước hạ lưu cao hơn đỉnh đập đến mức ảnh hưởng đến hình dạng làn nước tràn và năng lực tháo nước của đập.



Hình 8-5. Ảnh hưởng của mực nước sau đập tràn

Trong trường hợp đập tràn chảy ngập, hệ số lưu lượng đập tràn bị giảm so với trường hợp đập tràn chảy tự do. Mức độ giảm hệ số lưu lượng được đánh giá bằng hệ số ngập

$\sigma_n (\sigma_n \leq 1)$ nghĩa là:

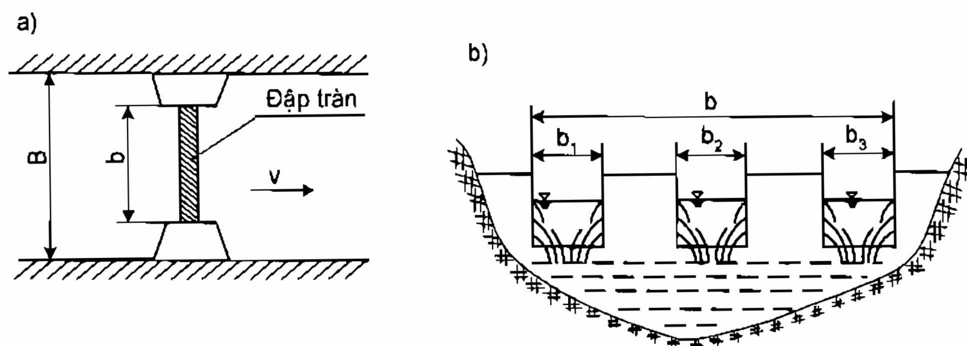
$$m_n = \sigma_n m$$

Trong đó: m_n - Hệ số lưu lượng của đập tràn chảy ngập

m - Hệ số lưu lượng của đập tràn ứng với lúc chảy tự do.

g) Ảnh hưởng của sự co hẹp bên

Sự co hẹp bên xảy ra khi chiều rộng tràn b nhỏ hơn chiều rộng dòng chảy nơi xây đập (Hình 8 - 6a) hoặc là khi đập tràn có chiều dài tràn khá lớn người ta phải xây nhiều trụ đập để chia ra nhiều khoang tràn.



Hình 8-6. Ảnh hưởng của sự co hẹp hai bên

Những trụ đập cản trở dòng chảy, thu hẹp diện tràn (Hình 8 -6b) cho nên hệ số lưu lượng cũng bị giảm, nó được xác định như sau:

$$m_c = \varepsilon m$$

Trong đó:

m_c - Hệ số lưu lượng của đập tràn bị co hẹp bên

m - Hệ số lưu lượng của đập tràn ứng với lúc không co hẹp và chảy tự do

II. CÔNG THỨC TỔNG QUÁT TÍNH LƯU LƯỢNG CỦA ĐẬP TRÀN

Mục đích chủ yếu tính toán thủy lực đập tràn là nhằm xác định được lưu lượng Q thoát qua đập, xác định chiều rộng b hoặc là tính cột áp H trên đỉnh đập tràn.

Công thức tính tổng quát cho mọi loại đập tràn có thể rút ra từ công thức tính toán cho lỗ lớn, với quan điểm xem rằng sự chảy qua đập tràn tương tự như chảy qua lỗ lớn, mà cạnh trên của lỗ không có, ta có:

$$H_{01} = 0 \text{ và } H_{02} = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g} = H_0$$

Trong đó:

H_0 - Cột áp toàn phần của đập tràn

H - Cột áp trên đỉnh đập tràn (không kể độ cao vận tốc tiến gần $\frac{2v_0^2}{2g}$)

v_0 - Vận tốc tiến gần đập

Thay các giá trị trên vào công thức tính lưu lượng lỗ to ta được:

$$Q = \frac{2}{3}\mu b\sqrt{2g}H_0^{3/2} = mb\sqrt{2g}H_0^{3/2}$$

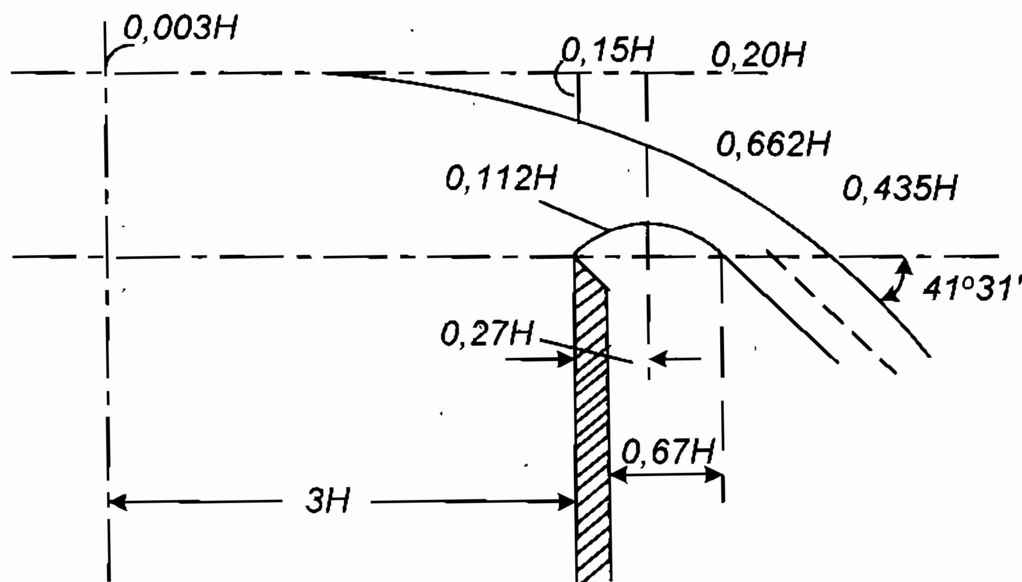
$m = 2/3\mu$ - Hệ số lưu lượng của đập tràn. m là hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào loại đập, điều kiện chảy (ngập hay không ngập, co hẹp hay không co hẹp) có thể tham khảo bảng 8 -1

Bảng 8 -1

Loại hình đập tràn	***m***
Đập tràn đỉnh rộng	*0,35*
Đập tràn có mặt cắt thực dụng không trơn tru (Hình thang, hình chữ nhật)	*0,45*
Đập tràn thành mỏng	*0,42*
Đập tràn có mặt cắt thực dụng hình cong không trơn tru:	
- Trị số thông thường	*0,45*
- Trị số lớn nhất	*0,49*

III. CÁC CÔNG THỨC TÍNH LƯU LƯỢNG CỦA ĐẬP TRÀN TIÊU CHUẨN

Đập tràn thành mỏng chảy tự do, không có co hẹp bên được gọi là đập tiêu chuẩn.



Hình 8-7. Các trị số toạ độ tính theo cột nước H của đập tràn tiêu chuẩn

Từ công thức tổng quát ta biến đổi để có công thức phù hợp với các điều kiện cụ thể.

1. Ảnh hưởng của vận tốc đến gần

+ Theo Badanh ảnh hưởng đó có thể xét đến bằng việc dùng hệ số lưu lượng m_o thay cho m:

$$m_0 = m\left(1 + \frac{\alpha v_0^2}{2gH}\right)^{3/2} \quad (8\text{-}1)$$

nên công thức tính lưu lượng sẽ trở thành:

$$Q = m_0 b\sqrt{2g}H^{3/2} \quad (8\text{-}2)$$

Trị số m_o được xác định bằng thực nghiệm.

Theo Badanh có thể tính m_o theo:

$$m_0 = \left(0{,}405 + \frac{0{,}003}{H}\right)\left[1 + 0{,}55\left(\frac{H}{H+P}\right)^2\right] \quad (8\text{-}3)$$

Công thức trên đúng trong phạm vi:

$0,2\ m < b < 2\ m$

$0,24\ m < P_1 < 1,13\ m$

$0,05\ m < H < 1,24\ m$

Theo Tsugaep:

$$m_0 = 0,402 + 0,054\frac{H}{P_1} \qquad (8\text{-}4)$$

Phạm vi chính xác: $P_1 \geq 0,5\ H$ và $H \geq 0,1$ m

Trong các phạm vi đã nêu, công thức (8-2) có độ chính xác đến 1%, do đó đập tràn thành mỏng tiêu chuẩn được dùng làm một công cụ đo lưu lượng.

+ Cũng có thể dùng cột nước toàn phần H_0 thay cho H trong (8-1) để xét đến ảnh hưởng của vận tốc đến gần:

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$$

Ta sẽ có công thức tính lưu lượng theo H_0 như sau:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{3/2} \qquad (8\text{-}5)$$

2. Ảnh hưởng co hẹp hai bên

Đối với đập tràn thành mỏng, khi có co hẹp hai bên, ta thay đổi hệ số m_0 bằng m_c. Trị số m_c có thể lấy theo thực nghiệm của Badanh:

$$m_c = \left(0,405 + \frac{0,003}{H} - 0,03\frac{B-b}{B}\right)\left[1 + 0,55\left(\frac{b}{B}\right)\left(\frac{H}{H+P_1}\right)^2\right] \qquad (8\text{-}6)$$

Có thể quan niệm: $m_c = \varepsilon\, m_o$, trong đó ε - hệ số co hẹp hai bên.

Do đó công thức tính lưu lượng trong trường hợp này bằng:

$$Q = m_c b\sqrt{2g}H^{3/2}$$

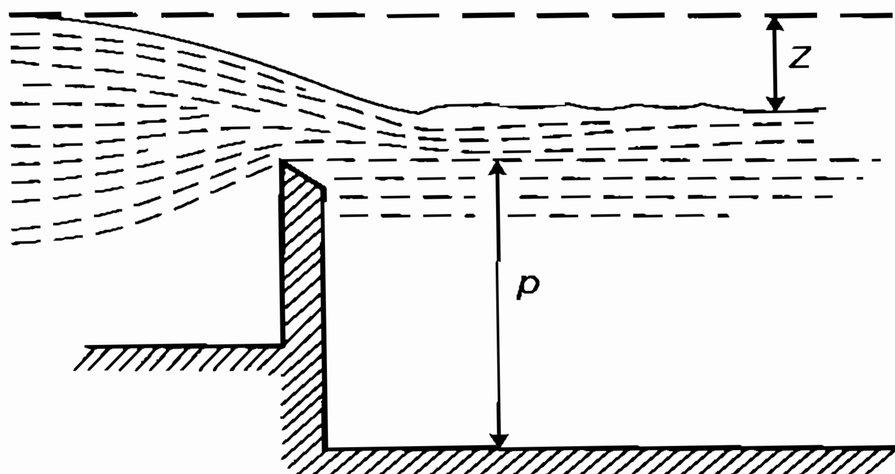
3. Ảnh hưởng của tính ngập

Đập tràn thành mỏng sẽ là chảy ngập nếu thoả mãn 2 điều kiện sau:

1. Mực nước hạ lưu cao hơn đỉnh đập:

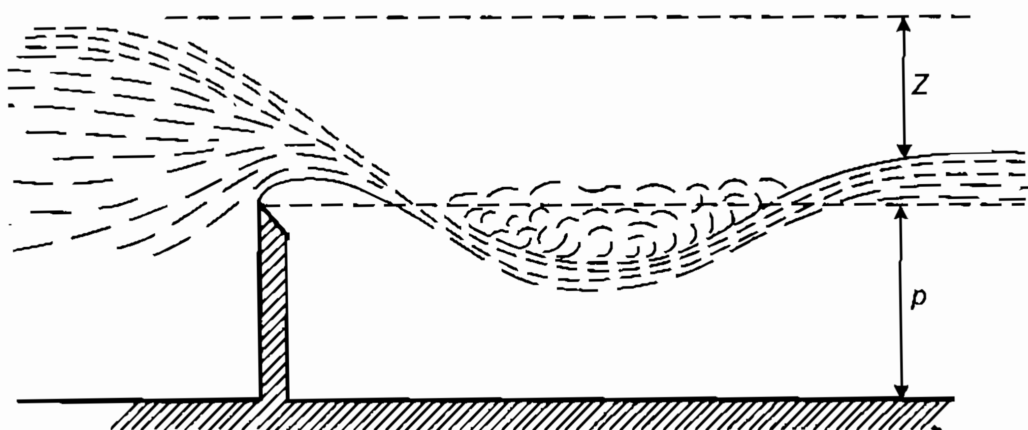
$h_h > P$ hoặc $h_h = h_n - P > 0$ (8-7)

2. Dòng tràn nối tiếp với hạ lưu bằng nước nhảy ngập hoặc không có nước nhảy, dòng chảy ở ngay hạ lưu đập là êm.



Hình 8 - 8. Mực nước hạ lưu cao hơn đỉnh đập

Nếu điều kiện thứ 2 không thoả mãn thì dù mực nước ở hạ lưu cao hơn đỉnh đập, mực nước ở ngay sau đập vẫn thấp hơn đỉnh đập. Lúc đó mực nước ở hạ lưu vẫn không ảnh hưởng đến lưu lượng tràn, nên vẫn chảy không ngập.



Hình 8 - 9. Mực nước hạ lưu thấp hơn đỉnh đập

Điều kiện có nước chảy ngập sẽ được thoả mãn khi tỉ số $\frac{z}{P}$ nhỏ hơn một trị số phân giới: $\left(\frac{z}{P}\right)_{p.g.}$

Tức là $\dfrac{z}{P} < \left(\dfrac{z}{P}\right)_{p.g.}$ (8-8)

Trong đó: z - độ chênh mực nước thượng - hạ lưu $z = H - h_n$

Trị số phân giới: $\left(\dfrac{z}{P}\right)_{p.g.}$ này phụ thuộc vào tỉ số $\dfrac{H}{P}$

Để tìm trị số phân giới: $\left(\dfrac{z}{P}\right)_{p.g.}$ đã có bảng hoặc đồ thị riêng.

Có thể lấy một cách gần đúng:

$$\left(\frac{z}{P}\right)_{p.g.} = 0,7 \div 0,75$$

Vậy khi chảy ngập, công thức tính lưu lượng sẽ là:

$$Q = \sigma_n m_0 b\sqrt{2g}H^{3/2} \tag{8-9}$$

Hệ số ngập σ_n được xác định bằng thực nghiệm, có thể lấy theo Badanh:

$$\sigma_n = 1,05\left(1 + 0,2\frac{h_n}{P}\right).\sqrt[3]{\frac{z}{H}} \tag{8-10}$$

Nếu vừa là chảy ngập vừa có co hẹp hai bên thì:

$$Q = \sigma_n m_c b\sqrt{2g}H^{3/2} \tag{8-11}$$

Ngoài đập tràn thành mỏng cửa chữ nhật, đập tràn thành mỏng cửa tam giác và hình thang thường được dùng làm công cụ đo lưu lượng trong phòng thí nghiệm và trên các kênh, máng nhỏ nhờ độ chính xác của các công thức tính lưu lượng trong điều kiện chảy tự do.

+ Đối với đập tràn cửa tam giác ta có công thức tính lưu lượng:

$$Q = m_0 tg\frac{\theta}{2}\sqrt{2g}H^{3/2}$$

Trong đó: θ - góc ở đỉnh của tam giác (TG).

Thay $m_0 tg\dfrac{\theta}{2} = m_{TG}$, ta được:

$$Q = m_{TG}\sqrt{2g}H^{3/2} \tag{8-12}$$

Đặt $m_{TG}\sqrt{2g} = M_{TG}$, ta có:

$$Q = M_{TG}H^{3/2} \quad (8\text{-}13)$$

Với đập được làm có $\theta = 90^0$, theo thực nghiệm của Tómon, trị số m_{TG} lúc đó bằng:

$$m_{TG} = 0,316$$

Thay vào (8-12) ta được:

$Q = 1,4\ H^{5/2}$ (m/s) (H tính bằng m);

$Q = 4,427\ H^{5/2}$ (l/s) (H tính bằng m).

Độ chính xác của các công thức này tới 1% trong phạm vi từ 0,05 m < H < 0,25 m. Gặp H lớn hơn thì phải dùng đập cửa hình thang.

+ Đối với đập tràn cửa hình thang, lưu lượng qua đập lớn hơn lưu lượng qua đập chữ nhật dưới cùng chiều rộng b và cột nước H do cửa đập được mở rộng một góc θ.

Công thức tính lưu lượng qua đập cửa hình thang vẫn có dạng như cửa chữ nhật:

$$Q = m_{th}b\sqrt{2g}H^{3/2} \quad (8\text{-}14)$$

Trong đó: m_{th} — hệ số lưu lượng của đập cửa hình thang, phụ thuộc vào góc θ.

Thường làm đập có tgq $tg\theta = \frac{1}{4}$, gọi là đập Xipo leti và có:

$$m_{th} = 0,42$$

nên $$Q = 0,42b\sqrt{2g}H^{3/2} \quad (8\text{-}15)$$

hay là: $Q = 1,86bH^{3/2}$ (m^3/s) (8-16)

Công thức đúng trong điều kiện b ≥ 3H; P1 > 0; chảy tự do, vận tốc đi tới không lớn lắm.

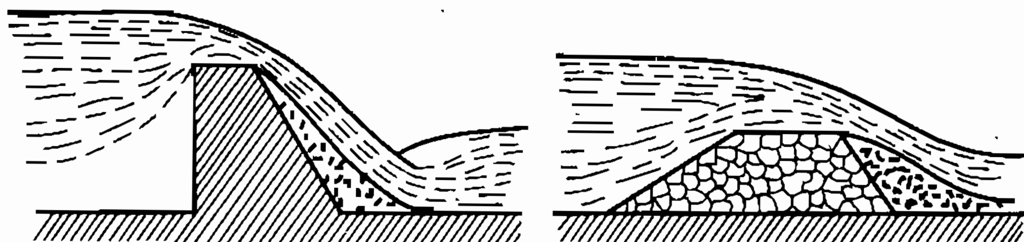
IV. ĐẬP TRÀN CÓ MẶT CẮT THỰC DỤNG

1. Đặc điểm chung của đập tràn có mặt cắt thực dụng

Về hình dạng mặt cắt:

+ Mặt cắt đa giác. Thường là hình thang, có đỉnh nằm ngang hoặc hốc, chiều dày đỉnh ở trong phạm vi 0,67H < δ < (2 — 3)H với các mái dốc thượng

hạ lưu khác nhau. Các đập này cấu tạo đơn giản, dễ xây dựng bằng các loại vật liệu thông thường, nhưng có nhược điểm là có hệ số lưu lượng nhỏ với các loại hình mặt cắt hình cong.

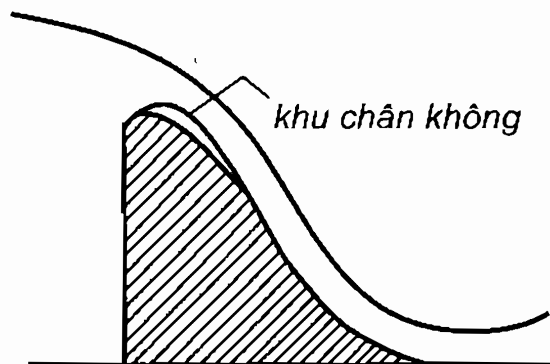


Hình 8-10. Đập tràn mặt cắt đa giác

+ Mặt cắt hình cong. Có đỉnh đập và mái hạ lưu hình cong, lượn theo làn nước tràn nên dòng chảy tràn được thuận, hệ số lưu lượng lớn, nhưng xây dựng phức tạp hơn. Đập tràn hình cong thường có hai loại.

- Nếu làm cho mặt đập sát vào mặt dưới của làn nước tràn, không còn khoảng trống nữa thì sẽ không có chân không, gọi là đập hình cong không có chân.

- Nếu giữa mặt đập với mặt dưới của làn nước tràn có khoảng trống thì không khí ở đó bị làn nước cuốn đi, sinh ra chân không, gọi là đập hình cong có chân không.



Hình 8-11. Đập tràn mặt cong

Loại đập này có nhược điểm là làn nước tràn không ổn định, dễ lay động, làm đập bị rung động và dễ sinh ra xâm thực trên mặt đập. Tuy nhiên đập này có ưu điểm là chân không trên đỉnh đập lại có tác dụng hút, làm tăng lưu lượng nên có khả năng rút ngắn chiều rộng đập, do đó gần đây có các loại vật liệu mới và kỹ thuật xây dựng tiên tiến nên việc dùng đập có chân không lại có lợi hơn.

2. Công thức tính lưu lượng

Ta vận dụng công thức tổng quát:

$$Q = mb.\sqrt{2g}H^{3/2}$$

Tuỳ theo trường hợp cụ thể mà phải xét đến các ảnh hưởng sau:

+ Cột nước vận tốc đến gần bằng cách thay H qua H_0;

+ Co hẹp bên bằng cách thay b qua chiều rộng thực của làn nước tràn trên mỗi nhịp b_c:

$$b_c = \varepsilon b$$

Hệ số ε xác định bằng thực nghiệm.

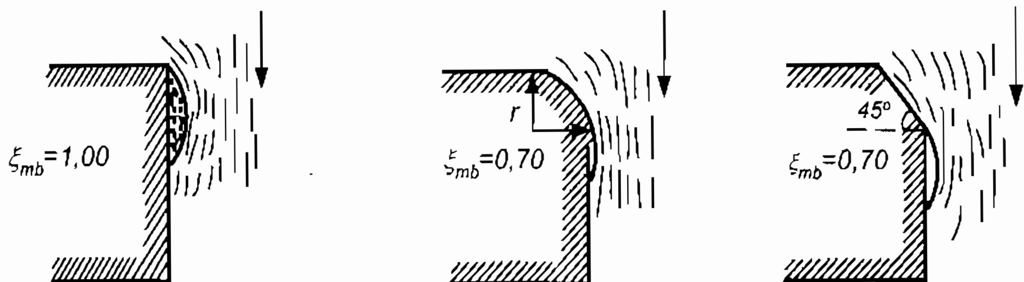
Theo quy phạm, hệ số co hẹp bên ε có thể tính theo công thức sau:

$$\varepsilon = 1 - 0,2\frac{\xi_{mb} + (n-1)\xi_{mt}}{n}\frac{H_0}{b}$$

Trong đó: n - số khoang đập;

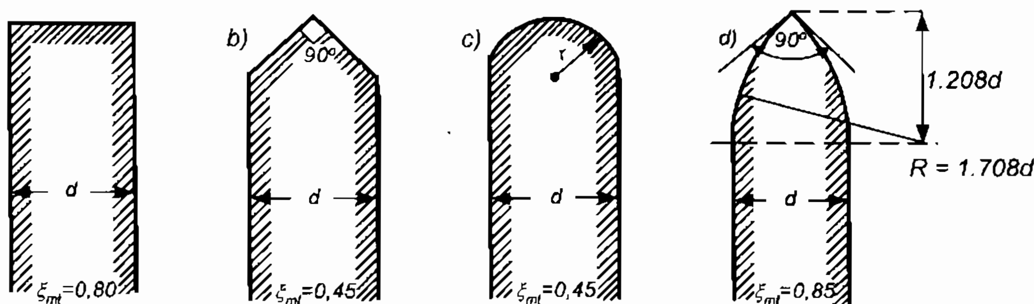
b - chiều rộng mỗi nhịp;

ξ_{mb} - hệ số hình dạng của mố bên, lấy theo hình vẽ sau:



Hình 8-12. Hệ số hình dạng của mố bên

ξ_{mt} - hệ số hình dạng của mố trục, lấy theo hình vẽ sau:



Hình 8-13. Hệ số hình dạng của mố trục

+ Điều kiện nhảy ngập

Cũng như đối với đập tràn thành mỏng, điều kiện nhảy ngập là:

* Mực nước hạ lưu cao hơn đỉnh đập:

$$h_h > P \text{ hoặc } h_n = h_h - P > 0 \qquad (8\text{-}17)$$

* Dòng chảy ngay sau đập là êm, ngập đỉnh đập, nối tiếp với hạ lưu bằng nước nhảy ngập hoặc không có nước nhảy.

Điều kiện thứ hai được thoả mãn khi tỉ số $\frac{z}{P}$ nhỏ hơn tỉ số phân giới $\left(\frac{z}{P}\right)_{pg}$:

$$\frac{z}{P} < \left(\frac{z}{P}\right)_{pg} \qquad (8\text{-}18)$$

Trị số $\left(\frac{z}{P}\right)_{pg}$ phụ thuộc vào tỉ số $\frac{H}{P}$ và hệ số lưu lượng m đã tính sẵn cho ở bảng sau:

Bảng 8-1. Xác định hệ số lưu lượng m theo $\frac{H}{P}$

H/P m	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
0,35	0,92	0,89	0,87	0,86	0,84	0,86	0,87	0,96	1,05

0,385	0,91	0,86	0,84	0,80	0,80	0,79	0,80	0,83	0,90
0,42	0,89	0,84	0,80	0,78	0,76	0,75	0,73	0,75	0,72
0,46	0,88	0,82	0,78	0,76	0,74	0,71	0,70	0,73	0,79
0,48	0,86	0,80	0,76	0,74	0,71	0,68	0,67	0,67	0,78

Hệ số ngập σ_n lấy theo thực nghiệm, cho ở bảng sau:

Bảng 8-2. Hệ số ngập σ_n của đập có mặt cắt thực dụng

$\frac{h_n}{H_0}$	σ_n	
	Đập không có chân không (1)	Đập có chân không (2)
- 0,15	1	1
0,10	1	0,999
0	1	0,990
0,10	0,998	0,971
0,20	0,996	0,940
0,30	0,991	0,895
0,40	0,983	0,845
0,50	0,972	0,788
0,60	0,957	0,723
0,70	0,933	0,642
0,75	0,85 (0,91 ÷ 0.68)	-
0,80	0,79 (0,89 ÷ 0,63)	0,538
0,85	0,70 (0,86 ÷ 0,54)	-
0,90	0,59 (0.63 ÷0,44)	0,390
0,95	0,41 (0,53 ÷0,28)	-
1,00	0,00	0,000

Với $0,15 < \frac{h_n}{H_0} < 0$, tuy thực chất chưa phải là chảy ngập, nhưng lúc đó mực nước hạ lưu lên đến gần đỉnh đập, ép khu chân không làm giảm tác dụng hút của chân không nên hệ số lưu lượng m giảm đi chút ít.

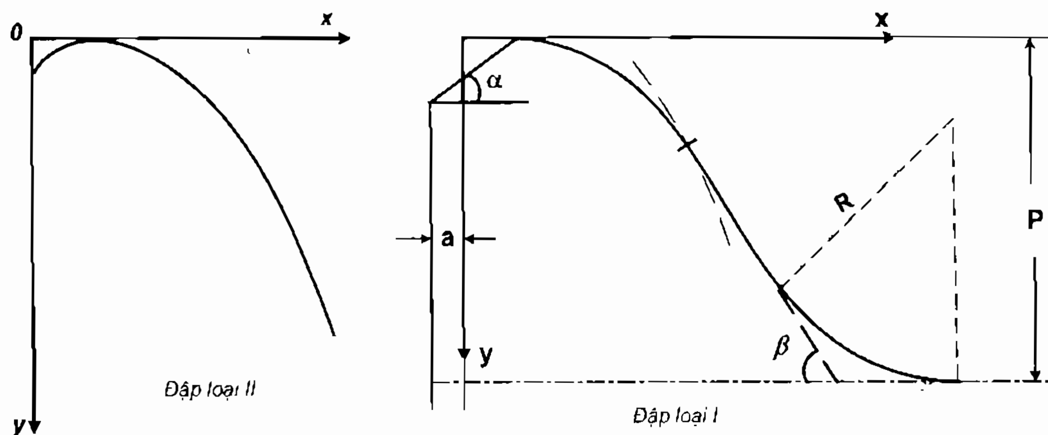
Vậy khi đập có nhiều khoang và đủ cả 3 yếu tố ảnh hưởng đã nói trên, ta có có công thức tính lưu lượng như sau:

$$Q = \sigma_n \varepsilon . m \sum b . \sqrt{2g} H^{3/2}$$

3. Cấu tạo mặt cắt của các loại đập mặt cắt thực dụng

3.1. Đập hình cong không có chân không

Nguyên tắc thiết kế mặt cắt đập không có chân không là làm cho mặt đập ăn khớp với mặt cắt dưới của làn nước chảy qua đập thành mỏng tiêu chuẩn ứng với một cột nước H cho trước, gọi là cột nước thiết kế mặt cắt, kí hiệu là H_{tk}.



Hình 8-14. Thiết kế mặt cắt đập không có chân không

Toạ độ mặt đập được vẽ theo các trị số trong bảng toạ độ của Crigiơ-Ôphireôp ứng với cột nước thiết kế mặt cắt theo bảng (phụ lục 5) ($H_{tk} = 1$).

Khi đập cao, đường cong này không đủ thoả mãn điều kiện ổn định của đập thì tiếp theo đường này là một đoạn thẳng có độc dốc theo yêu cầu ổn định của đập. Phần chân đập, chỗ nối tiếp với sàn đập lượn theo một cung tròn để dòng chảy xuống chân đập được thuận. Bán kính R của cung tròn này lấy theo bảng (phụ lục 6); khi đập thấp hơn 10m (P < 10m) thì có thể lấy R = 0,5P.

Hệ số lưu lượng cụ thể của một đập do cấu tạo mặt đập tương ứng có thể xác định bằng công thức:

$$m = \sigma_{hd} . \sigma_H . m_{tc}$$

Trong đó:

m_{tc} - hệ số lưu lượng xác định cho đập tiêu chuẩn;

σ_{hd} - hệ số sửa chữa do thay đổi hình dạng theo cấu tạo khác với đập tiêu chuẩn, chẳng hạn, do tăng đoạn a, thay đổi góc α và góc β,...

σ_H - hệ số sửa chữa do cột nước H khác với cột nước thiết kế mặt cắt H_{tk}.

Các hệ số sửa chữa hình dạng, cột nước có thể lấy theo các bảng tính sẵn (phụ lục 7).

3.2. Đập hình cong có chân không

Mặt cắt đập phải thoả mãn các điều kiện sau đây:

+ Có hệ số lưu lượng lớn nhất, khi chảy với cột nước thiết kế;

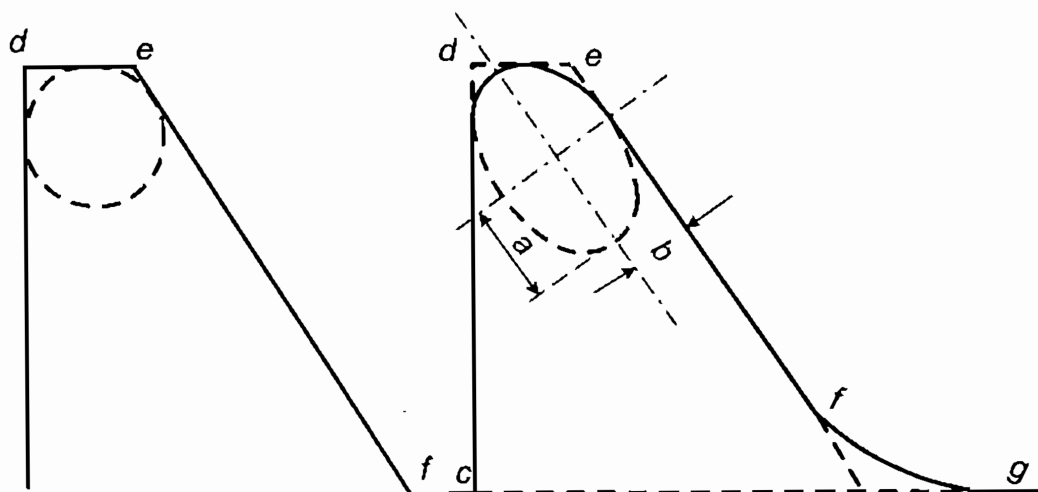
+ Chỉ có chân không ở phần đỉnh đập, không có ở phần dưới của mặt tràn;

+ Đảm bảo không có không khí lọt vào dưới làn nước;

+ Độ chân không $\sigma_{ck} = \dfrac{h_{ck}}{H_0}$ không quá lớn;

+ Không có áp lực mạch động quá lớn.

Hai loại đập có chân không đầu tròn và elíp đã được nghiên cứu, có cấu tạo như hình vẽ bên:



Hình 8-15. Đập hình cong có chân không

Hệ số lưu lượng của đập có chân không đỉnh tròn và elíp lấy theo bảng sau:

Bảng 8-3. Xác định hệ số lưu lượng m của đập có chân không theo $\frac{H_0}{r'}$

$\frac{H_0}{r'}$	m			$\frac{H_0}{r'}$	m		
	$\frac{a}{b}=1$	$\frac{a}{b}=2$	$\frac{a}{b}=3$		$\frac{a}{b}=1$	$\frac{a}{b}=2$	$\frac{a}{b}=3$
1,0	0,486	0,487	0,495	2,4	0,538	0,544	0,557
1,2	0,497	0,500	0,509	2,6	0,543	0,560	0,562
1,4	0,506	0,512	0,520	2,8	0,549	0,565	0,566
1,6	0,530	0,521	0,530	3,0	0,553	0,569	0,570
1,8	0,521	0,531	0,537	3,2	0,557	0,573	0,575
2,0	0,526	0,540	0,544	3,4	0,560	0,577	0,577
2,2	0,535	0,548	0,551				

Theo bảng thì $\frac{H_0}{r'}$ càng lớn thì m càng lớn, nhưng $\frac{H_0}{r'}$ lớn quá thì độ chân không trên đỉnh cũng sẽ lớn và đỉnh đập quá nhỏ không đảm bảo yêu cầu ổn định và vững chắc. Nói chung nên làm với $\frac{H_0}{r'}$ lớn quá 3,0 đến 3,6.

3.3. Đập tràn đa giác

Đập tràn đa giác có nhiều dạng mặt cắt như là hình chữ nhật, hình thang, đa giác bất kì, có thể có một phần là đường cong.

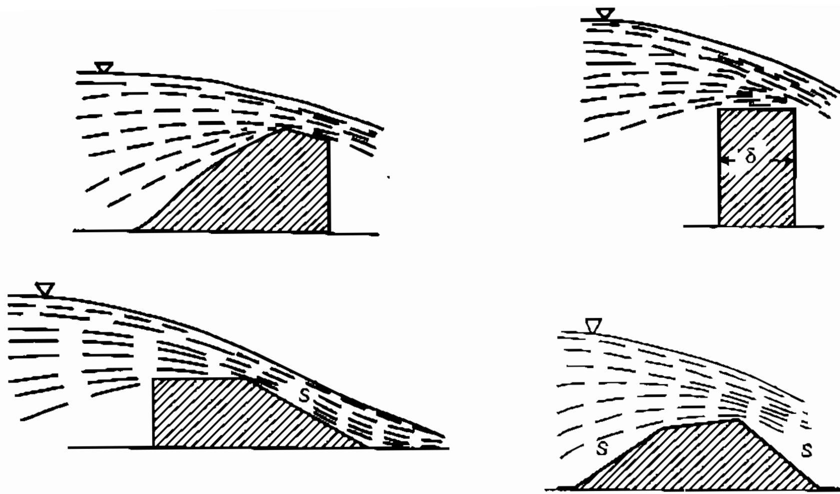
Loại đập này cấu tạo đơn giản, dễ làm nhưng hệ số lưu lượng nhỏ (m = 0,35 ÷ 0,45). Đập này thường được sử dụng nhiều vào các công trình thuỷ lợi loại nhỏ bằng vật liệu tại chỗ như đá, gạch, gỗ...

Dưới đây là hệ số lưu lượng của một vài loại đập đơn giản:

+ Đập mặt cắt chữ nhật, theo Badanh:

$$m = 0,42\left(0,70 + 0,185\frac{H}{\delta}\right) \qquad (8\text{-}19)$$

+ Đập tràn mặt cắt hình thang lấy theo bảng phụ lục 8.



Hình 8-16.

4. Các bài toán về đập có mặt cắt thực dụng

Thực tế thường phải giải quyết các bài toán sau đây về đập tràn:

+ Biết chiều rộng đập b, cao trình đỉnh đập, mức nước thượng hạ lưu (tức biết H và h_h) tính lưu lượng Q.

+ Biết chiều rộng đập b, lưu lượng Q, mực nước thượng hạ lưu, xác định cao trình đỉnh đập (tính H) hoặc ngược lại biết cao trình đỉnh đập, xác định mực nước đang ở thượng lưu.

+ Biết lưu lượng Q, cao trình đỉnh đập, mực nước thượng hạ lưu, tính chiều rộng đập b.

Các bài toán trên đều xuất phát từ một công thức tổng quát:

$$Q = \sigma_n \varepsilon . m \sum b . \sqrt{2g} H^{3/2}$$

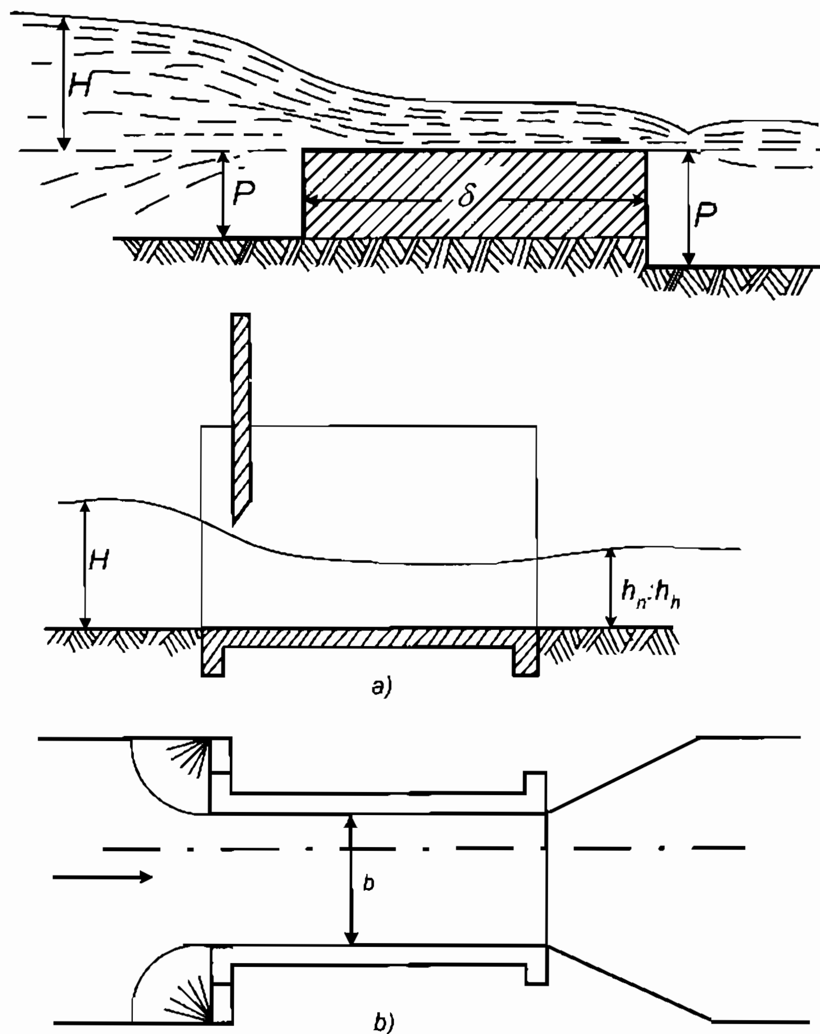
Các hệ số σ_n, ε, m nhiều khi lại phụ thuộc các yếu tố chưa biết, nên một số bài toán phải giải bằng cách tính gần đúng (tính thử dần).

V. ĐẬP TRÀN ĐỈNH RỘNG

Khi chiều dày của đỉnh đập δ trong khoảng: $(2 \div 3)H < \delta < (8 \div 10)H$ thì gọi là đập tràn đỉnh rộng. Đập tràn đỉnh rộng có nhiều đặc điểm khác hai loại đập đã xét ở trên, về hình dạng làn nước tràn, về tiêu chuẩn ngập và do đó cả về phương diện tính toán.

Định nghĩa chung: Đập tràn đỉnh rộng là một ngưỡng chắn ngang dòng chảy để dòng chảy tràn trên ngưỡng.

Nhưng nếu có 2 tường bên hoặc mố ở 2 bên làm thu hẹp dòng chảy, làm cho mực nước ở phía thượng lưu phải dâng lên, tạo nên một độ chênh mực nước, thí dụ không có ngưỡng cao hơn đáy kênh, về quan điểm thuỷ lực ta cũng coi đây là hiện tượng chảy qua đập tràn đỉnh rộng (đập có $P = P_1 = 0$), lúc đó độ sâu ở thượng lưu khe hẹp cũng chính là cột nước H trên đỉnh đập. Hiện tượng này gặp rất nhiều: mố cầu nhỏ, cống trên kênh hoặc cống ở đầu kênh khi cửa cống kéo lên khỏi mặt nước...



Hình 8-17. Đập tràn đỉnh rộng

1. Cách xác định chiều sâu h và hệ số lưu lượng m

Đập tràn đỉnh rộng đã được nghiên cứu nhiều và từ rất lâu, bằng lý luận và bằng thực nghiệm. Tuy nhiên đến nay việc xác định trị số m vẫn chưa có ý kiến thống nhất.

Dưới đây là một số phương pháp cơ bản:

+ Phương pháp Bêlănggiơ:

Xét quan hệ giữa lưu lượng và các thông số cơ bản trong công thức tính đối với đập tràn đỉnh rộng:

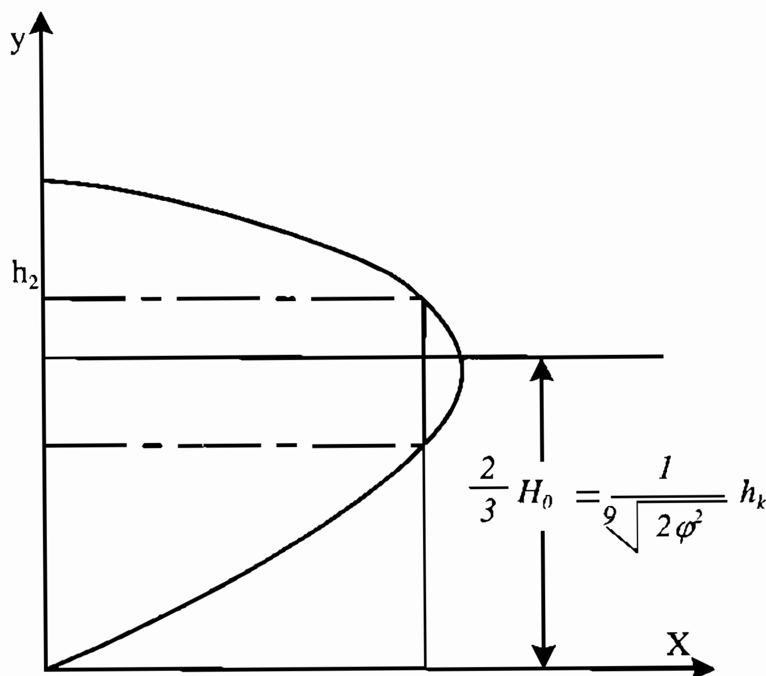
$$Q = \mu.b.h\sqrt{2g(H_0 - h)} \qquad (8\text{-}20)$$

Trong đó : μ - hệ số lưu lượng;

h - chiều sâu trên đỉnh đập tràn.

Ta thấy:

Với một trị số H_0 cho trước thì Q sẽ biến đổi theo h như ở hình vẽ. Khi h → 0 thì Q → 0. Khi h → H_0 thì Q → 0 đường biểu diễn Q ~ h có một giá trị Q lớn nhất: Q_{max}.



Hình 8-18. Xác định chiều sâu h và hệ số lưu lượng m

Năm 1828, Bêlănggiơ đã đưa ra tiền đề: dòng chảy sẽ tự điều chỉnh một độ sâu trên đỉnh đập thế nào cho lưu lượng tháo qua đập là lớn nhất.

Từ (8-20) lấy đạo hàm Q theo h, coi φ là hằng số:

$$\frac{dQ}{dh} = \varphi.b\sqrt{2g}\frac{d\left(h\sqrt{H_0 - h}\right)}{dh} = \varphi.b\sqrt{2g}\left[\sqrt{H_0 - h} - \frac{1}{2}\frac{h}{\sqrt{H_0 - h}}\right]$$

Cho đạo hàm bằng 0 và giải ra, ta được:

$$h = \frac{2}{3}H_0 \quad (8\text{-}21)$$

Thí nghiệm chứng tỏ thường xuyên gặp $h = \frac{2}{3}H_0$. Điều đó chứng tỏ tính chính xác, hợp lý của tiền đề Bêlănggiơ.

Thay h vào (8-20)

$$Q = \varphi.b.\frac{2}{3}H_0\sqrt{2g\left(H_0 - \frac{2}{3}H_0\right)} = \varphi\frac{2}{3\sqrt{3}}bH_0\sqrt{2gH_0}$$

hoặc: $$Q = m.b\sqrt{2g}H_0^{3/2} \quad (8\text{-}22)$$

Trong đó: $$m = \varphi\frac{2}{3\sqrt{3}} = 0,385\varphi \approx 0,35 \quad (8\text{-}23)$$

Có thể xem đây là cách giải gần đúng.

Để giải thích chính xác, ta dùng nguyên lí của Bakhmêchép.

+ Phương pháp Bakhmêchép:

Năm 1912, Bakhmêchép cho rằng dòng chảy trên đỉnh đập phải có độ sâu thế nào cho năng lượng đơn vị của mặt cắt э đạt đến trị số nhỏ nhất. Đây là nguyên lí tỉ năng nhỏ nhất. Nguyên lí này xuất phát từ quy luật của cơ học nói chung: bất cứ hệ cơ học nào trong trọng trường cũng có xu thế chiếm vị trí mà dự trữ năng lượng là bé nhất.

Như vậy theo Bakhmêchép, độ sâu trên đỉnh đập là:

$$h = h_k \quad (8\text{-}24)$$

Tỉ năng mặt cắt э trên ngưỡng đập:

$$э = h + \frac{\alpha v^2}{2g} = h + \frac{\alpha Q^2}{2gb^2h^2}$$

Lấy đạo hàm:

$$\frac{dэ}{dh} = 1 - \frac{\alpha Q^2}{gb^2}\frac{1}{h^3} = 0$$

Từ đó rút ra:

$$h = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}}$$

Đặt: $q = \frac{Q}{b'}$ ta có:

$$h = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \qquad (8\text{-}25)$$

Công thức (8-25) cũng chính là công thức tính chiều sâu phân giới. Vậy (8-24) đã được chứng minh.

Viết $$h_k^3 = \frac{\alpha Q^2}{gb^2} = \frac{\alpha(\omega_k v_k)^2}{gb^2} = \frac{\alpha.b^2h_k^2v_k^2}{gb^2}$$

Cuối cùng: $h_k = \frac{\alpha v_k^2}{g}$

Viết phương trình Becnuli cho 2 mặt cắt tại trước đập và trên đỉnh đập, ta được:

$$v_k = \sqrt{\frac{2g(H_0 - h_k)}{1+\xi}} = \varphi\sqrt{2g(H_0 - h_k)}$$

$$\frac{v_k^2}{g} = 2\varphi^2(H_0 - h_k) \qquad \text{nên } h_k = 2\varphi(H_0 - h_k)$$

Kí hiệu: $k = \frac{h_k}{H_0}$ hoặc $h_k = kH_0$

$$kH_0 = 2\varphi^2(H_0 - kH_0)$$

$$k = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2}$$

nên chiều sâu trên đỉnh đập bằng chiều sâu phân giới:

$$h_k = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2} H_0 \qquad (8\text{-}26)$$

Nếu $\xi = 0$; $\varphi = 1,0$ thì

$$h_k = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2} H_0 = \frac{2}{3} H_0 \qquad (8\text{-}27)$$

và cách giải của Bêlănggiơ cũng trùng với cách giải của Bakhmêchép.

Vì $\varphi < 1,0$ nên k theo (8-26) nhỏ hơn 2/3, do đó:

"Chiều sâu theo Bakhmêchép trên ngưỡng luôn bé hơn $2/3H_0$, còn theo Bêlănggiơ thì bằng $2/3H_0$".

+ Hệ số lưu lượng m của đập tràn đỉnh rộng:

Lưu lượng có thể xác định theo công thức:

$$Q = \omega v = bh_k\varphi\sqrt{2g(H_0 - h_k)}$$

hoặc:

$$Q = \varphi.b.k.H_0\sqrt{2g(H_0 - kH_0)} = \varphi.k\sqrt{1-k}.b.\sqrt{2g}.H_0^{3/2} \qquad (8\text{-}28)$$

Thay vào công thức tính lưu lượng tổng quát của đập tràn, ta có:

$$m = \varphi.k.\sqrt{1-k} \qquad (8\text{-}29)$$

Nếu $\varphi = 1,0$ thì m = 0,385. Đây là hệ số m lớn nhất. Thông thường m = 0,32 ÷ 0,35.

2. ảnh hưởng của sự co hẹp bên đối với hệ số lưu lượng

ảnh hưởng của sự co hẹp bên đến hệ số lưu lượng của đập tràn đỉnh rộng được D.I.Cumin xác định bằng thực nghiệm đối với các trường hợp đập có các

hình thức và mức độ co hẹp khác nhau theo chiều thẳng đứng và trên mặt bằng. Kết quả được lập thành bảng sau đây:

Tính chất thu hẹp ở cửa vào	M
1. Cửa vào rất không thuận, mức độ thu hẹp rất lớn, đầu cong, đập nhô ra mái đê thượng lưu.	0.30 ÷ 0,31
2. Cửa vào không thuận, ngưỡng đập vuông cạnh, mố bên vuông góc, không có tường cánh.	0,32 ÷ 0,33
3. Cửa vào tương đối thuận, ngưỡng tròn hoặc bạt góc, có tường cánh thẳng thu hẹp dần hoặc tường cánh hình chóp.	0,34 ÷ 0,36
4. Cửa vào rất thuận.	0,37 ÷ 0,38

3. Ảnh hưởng của tính ngập

Khi xem xét diễn biến của dòng chảy trên đỉnh đập ta gặp hiện tượng lúc mực nước hạ lưu cao hơn đỉnh đập một mức nào đó thì hình thành nước nhảy sóng trên đỉnh đập, nếu mực nước càng lên cao thì nước nhảy càng lùi dần về phía thượng lưu, nhưng chừng nào nước nhảy chưa làm ngập mặt cắt co hẹp (c - c), trên đỉnh đập vẫn chưa ảnh hưởng đến lưu lượng hoặc mực nước thượng lưu, và đập vẫn còn là chảy không ngập. Chỉ khi mực nước hạ lưu lên đến mức làm ngập mặt cắt co hẹp (nước nhảy ngập), dòng chảy ở trên đập hoàn toàn ở trạng thái chảy êm ($h > h_k$) thì lúc đó mới là chảy ngập.

Khi bắt đầu chảy ngập, nếu độ sâu hạ lưu tăng lên sẽ làm lưu lượng giảm đi (với mực nước thượng lưu không đổi) hoặc sẽ làm mực nước thượng lưu tăng lên (với lưu lượng chảy về không đổi).

Nếu gọi độ ngập h_n lúc bắt đầu từ chảy không ngập sang chảy ngập là $(h_n)_{p.g}$ thì theo Picalôp, trạng thái phân giới xảy ra lúc độ ngập hạ lưu h_n bằng độ sâu liên hiệp với h_c trong nước nhảy sóng:

$$(h_n)_{pg} = h_c'' = k'' H_0$$

h'' lấy theo công thức:

$$h_c'' = k'' H_0 = \frac{2\varphi^2}{1 + 2\varphi^2(2\varphi^2 - 1)} H_0 \qquad (8\text{-}30)$$

4. Công thức tính lưu lượng khi chảy ngập

Khi chảy nhập công thức lưu lượng sẽ là:

$$Q = \varphi_n b h_n \sqrt{2g(H_0 - h_n)} \qquad (8\text{-}31)$$

Trong đó để tính gần đúng đã bỏ qua chiều cao phục hồi z_2 và lấy h_n = h. còn φ_n là hệ số lưu lượng cho trường hợp chảy ngập được lấy theo bảng sau:

Bảng 8.4. Quan hệ giữa m và φ, φ_n, k_1, k_2

m	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,385
φ	0,943	0,950	0,956	0,963	0,970	0,976	0,983	0,990	0,996	1
k_1	0,42	0,435	0,452	0,471	0,492	0,515	0,540	0,566	0,608	2/3
k_2	0,566	0,855	0,842	0,830	0,806	0,800	0,779	0,754	0,717	2/3
φ_n	0,77	0,81	0,84	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	0,99	1

VI. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 8-1.

Tính lưu lượng qua đập tràn thành mỏng cửa chữ nhật có b = B = 0,5m, P = P_1 = 0,35m, H = 0,4m, độ sâu hạ lưu h_h = 0,45m.

Giải:

$$Q = \varepsilon.\sigma_n.m_o b\sqrt{2g} H_o^{3/2}$$

b = B không co hẹp bên $\varepsilon = 1$

Chế độ chảy : $\frac{Z}{p} = \frac{(H+P) - h_h}{p} = \frac{(0{,}35 + 0{,}4) - 0{,}45}{0{,}35} = 0{,}857$

$\frac{Z}{P} > \left[\frac{Z}{P}\right]_{pg} = 0{,}75$: Chế độ chảy không ngập σ_n = 1.

m_o tính theo công thức Tsugaep:

$$m_o = 0,402 + 0,054\frac{H}{P_l}$$

$$= 0,402 + 0,054\frac{0,4}{0,35} = 0,46$$

$$Q = 0,46 \times 0,5.4,43.0,4^{3/2}$$

$$= 0,26\,m^3/s$$

Ví dụ 8-2

Tính lưu lượng qua đập tràn mặt cắt thực dụng mặt cong không có chân không kiểu Cơrigiơ-Ôphơxêrốp loại I với $P = P_l = 3,8m$, $\Sigma b = 90m$ chia làm 9 nhịp bằng các mố đầu tròn. Biết $H = H_{tk} = 2,4m$, $h_h = 5m$.

Giải:

$$Q = \sigma_n.\varepsilon.m\sum b\sqrt{2g}H_o^{3/2}$$

Xét chế độ chảy:

$$\frac{Z}{P} = \frac{(P_l + H)}{P} - h_h = \frac{(3,8 + 2,4) - 5}{3,8} = 0,315$$

$$\frac{Z}{P} < \left[\frac{Z}{P}\right] \text{chảy nhập } \sigma_n = f\left(\frac{h_n}{H_o}\right)$$

$$\frac{h_n}{H_o} = \frac{1,2}{2,4} = 0,5 \rightarrow \sigma_n = 0,972$$

Xét sự co hẹp đầu mố trụ tròn $\xi_{mtr} = 0,45$ xem $B = \Sigma b$; $\zeta_{mb} = 0$

$$e = 1 - 0,2\frac{\xi_{mb} + (n-1)\xi_{mtr}}{n}\frac{H}{b}$$

$$= 1 - 0,2\frac{(9-1)0,45}{9}\frac{2,4}{10} = 0,981$$

Bỏ qua v_o: $H \approx H_o$

$$Q = 0,972 \times 0,981 \times 0,504 \times 90(2,4)^{3/2} \times 4,43 = 712,4\ m^3/s$$

Ví dụ 8-3

Một đập tràn thực dụng hình cong có chân không đỉnh elip $\left(\frac{a}{b} = 2, r' = 1,5\right)$ cột nước thiết kế là H_{tk} = 3m. Mực nước hạ lưu thấp hơn đỉnh đập. Đập có 4 nhịp b = 10m, đầu mố tròn. Đập cao 10m, dòng sông thượng lưu có chiều rộng B = 60m. Tính lưu lượng chảy qua đập.

Giải:

$h_n = h_h - P_1 < 0$: dòng chảy tự do qua đập.

$$Q = \varepsilon . m \sum b \sqrt{2g} H_o^{3/2}$$

Xác định hệ số co hẹp ε

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \frac{\xi_{mb} + (n-1)\xi_{mtr}}{n} \frac{H}{b}$$

$\xi_{mb} = 1$; $\xi = 0,45$; $n = 4$; $b = 10$

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \frac{1 + 3 \times 0,45}{4} \frac{3}{10} = 0,954$$

$$m = f\left(\frac{a}{b}, r'\right) ; \quad \frac{a}{b} = 2 ; \quad r' = 1,5$$

Tra bảng 8-3: $m = f\left(\frac{a}{b}, r'\right) \rightarrow m = 0,546$

$$\Omega_{tl} = B(H + P) = 60 \times 13 = 780m^2$$

$$\omega = \sum bH = 40 \times 3 = 120m^2$$

$\Omega_{tl} > 4\omega$ bỏ qua cột nước vận tốc đến gần:

$$H_o \approx H$$

$$Q = \varepsilon.m\sum b\sqrt{2g}H^{3/2}$$

$$= 0,954 \,.\, 0,546 \,.\, 40 \,.\, 4,43 \,.\, 3^{3/2}$$

$$= 453,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ví dụ 8-4

Tính lưu lượng qua đập tràn đỉnh rộng có b = B = 3m, đầu ngưỡng vuông cạnh cao $P = P_1 = 0,8$m, H = 2,03, $h_h = 1,8$m, bỏ qua vận tốc đến gần.

Giải:

Lưu lượng qua đập tràn đỉnh rộng tính theo công thức cơ bản:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_o^{3/2}$$

bỏ qua $\dfrac{v_o^2}{2g}$ $\qquad H_o = H$

Xét chế độ chảy $h_n = h_h - P = 1,8 - 0,8 = 1$m

Gần đúng lấy: $\left[\dfrac{h_n}{H_o}\right]_{pg} = 0,8$

$$\frac{h_n}{H} = \frac{1}{2,03} = 0,493$$

$\dfrac{h_n}{H} < \left[\dfrac{h_n}{H}\right]_{pg}$ chảy không ngập qua đập.

Cửa vào vuông cạnh theo Cumin (tra bảng 8-3) có m = 0,33.

Hoặc tính Q theo m tính toán với φ = 0,963 ; $k_1 = 0,471$; $k_2 = 0,830$ bằng công thức:

$m = \varphi k\sqrt{1-k}$ $\qquad$ Thay $k_1 = 0,471$; $k_2 = 0,83$

ta có:

$$m_1 = 0,963.0,471\sqrt{1-0,471} = 0,33$$

$$m_2 = 0,963.0,83\sqrt{1-0,83} = 0,33$$

Vậy:

$$Q = m.b\sqrt{2g}H^{3/2} = 0,33\times 3 \,.\, 4,33 \,.\, 2,03^{3/2}$$

$$= 12,68 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ví dụ 8-5

Đập tràn có $P = P_1 = 8m$ được chia thành 7 nhịp. Mố bên và mố trụ lượng tròn, lưu lượng thiết kế $Q_{tk} = 300m^3/s$, cột nước thiết kế $H_{tk} = 2,0m$, mực nước hạ lưu $h_h = 5m$, sông phía thượng lưu có $B = 80m$. Xác định b khi đập là hình cong loại II.

Giải:

Vì $h_n < 0$ nên dòng chảy chảy tự do qua đập. Đập tràn mặt cắt thực dụng mặt cong loại I có $m_{tc} = 0,48$.

$$v_o^2 = \frac{Q}{\omega} = \frac{300}{(2+8)\times 80} = 0,375m/s$$

$$\frac{\alpha v_o^2}{2g} = \frac{1\times 0,375^2}{9,81\times 2} = 0,007 \approx 0 \text{ xem } H_o = H$$

$Q = \sigma_n.\varepsilon.m.n.b\sqrt{2g}H^{3/2}$. Lấy $\sigma_n = 1$.

$$\varepsilon b = \frac{Q}{n.m\sqrt{2g}H^{3/2}} = \frac{300}{7.0,38.4,432^{3/2}}$$

Mặt khác hệ số co hẹp ε tính từ công thức:

$$\varepsilon = 1 - 0,2\frac{(\xi_{mb} + (n-1)\xi_{mtr})}{n}\frac{H_o}{b}$$

$$\varepsilon.b = b - 0,2\frac{\xi_{mb} + (n-1)\xi_{mtr}}{n}.H$$

$$b = \varepsilon.b + 0,2\frac{\xi_{mb} + (n-1)\xi_{mtr}}{n}.H$$

$$= 7,12 + \frac{0,2(0,7 + 6.0,45)}{7}.2 = 7,3m$$

Bài tập 8-1

Tính lưu lượng qua đập tràn thành mỏng hình chữ nhật có $P = 0,5m$, $P_1 = 0,4m$, $B = 0,5m$, $b = 0,4m$, $h_h = 0,7m$, $H = 0,4m$.

Đáp số : $Q = 0,143m^3/s$

Bài tập 8-2

Để đo lưu lượng trong phòng thí nghiệm người ta dùng một đập thành mỏng cửa chữ nhật có chiều rộng b = 60m. Đập không có co hẹp. Xác định chiều cao H trước đập khi $P = P_1 = 0{,}4m$, $h_h = 3{,}0cm$, Q = 45 l/s.

Đáp số: *H = 0,118m*

Bài tập 8-3

Cho một đập tràn có $P = P_1 = 0{,}5m$, b = 0,6m, yêu cầu xác định cột nước H trước đập khi $Q = 0{,}04m^3/s$ với B = 0,6m, $h_h = 0{,}5m$.

Đáp số: *H = 0,11m*

Bài tập 8-4

Xác định chiều rộng của một đập tràn hình cong loại II có H = 2m, B = 16m, đập có hai khoang. Mỗi khoang có trụ nửa hình tròn, mố bên là cung tròn, $P_1 = P_2 = 4m$, H = 2m, $h_h = 1{,}5m$, $Q = 15m^3/s$.

Đáp số: Σ b = 7,94m

Chương 9

CHẢY QUA CỬA CỐNG

I. CÁC KHÁI NIỆM CHUNG

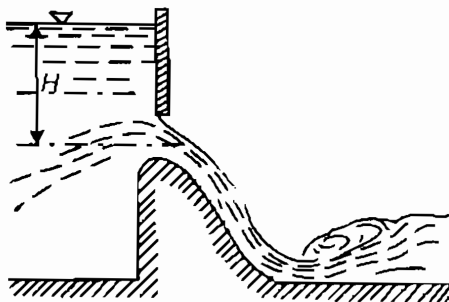
Cống là tên chung chỉ công trình điều khiển mực nước hoặc lưu lượng.

Lỗ tháo nước của cống thường đóng mở bằng tấm chắn hoặc cánh cửa cống. Dòng chảy qua lỗ cửa chịu tác dụng của cột nước H hoặc độ chênh mực thượng, hạ lưu z.

Điều khiển mực nước khi lưu lượng cố định hoặc điều khiển lưu lượng khi mực nước cố định đều bằng đóng mở cửa van.

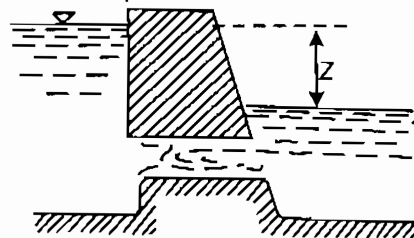
Nếu cao trình mực nước hạ lưu (∇MNHL) thấp hơn đỉnh cống, tấm cửa cũng kéo lên trên mực nước thì dòng chảy qua cống hoàn toàn là không áp, cống làm việc như một đập tràn đỉnh rộng (Hình 9-1).

Khi cao trình mực nước hạ lưu (∇MNTL) ngập hoàn toàn lỗ cống thì dòng chảy cơ bản là dòng chảy qua lỗ hoặc vòi (Hình 9-2).



Hình 9-1

Mực nước hạ lưu thấp hơn đỉnh cống



Hình 9-2

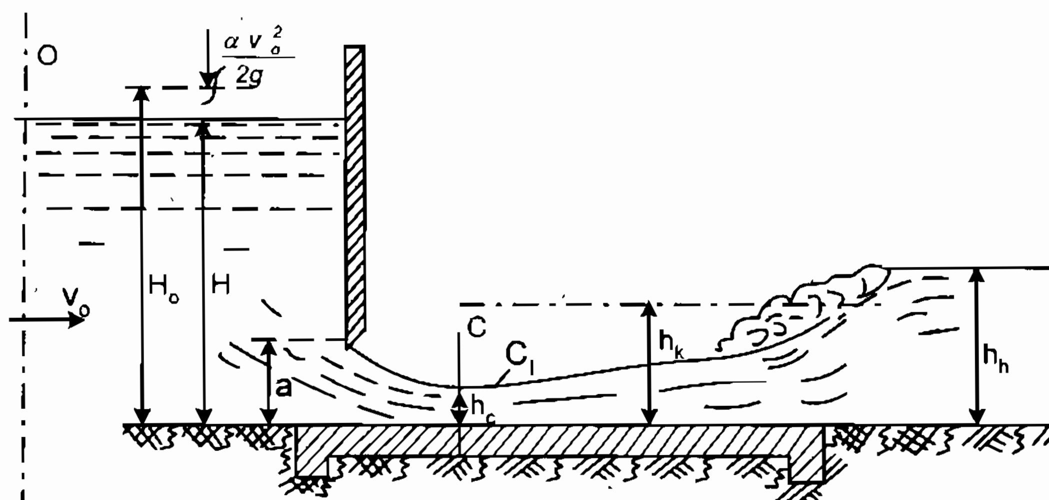
Mực nước hạ lưu cao hơn đỉnh cống

Trong thực tế dòng chảy ra khỏi cửa cống sẽ đi ra kênh dẫn, nối tiếp với dòng hạ lưu theo những hình thức nối tiếp khác nhau và các hình thức đó lại ảnh hưởng đến khả năng tháo nước của cống.

Vì vậy, trong chương này phải dùng các kết quả nghiên cứu về dòng chảy qua lỗ và vòi và nối tiếp thượng hạ lưu để nghiên cứu.

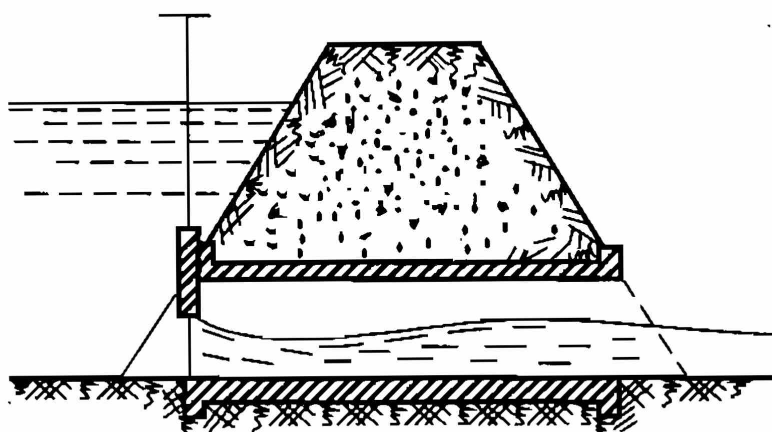
Ta xét hai trường hợp:

+ Cống không có trần hoặc vòm, sau cửa cống là lòng dẫn hở. Đó là dòng chảy dưới tấm chắn cửa cống hở (Hình 9-3).



Hình 9-3. Dòng chảy dưới tấm chắn cửa cống hở

+ Thân cống hình ống tương đối dài (mặt cắt khép kín có trần hoặc vòm), dòng chảy trong thân cống có thể là đầy ống hoặc không đầy ống. Đó là chảy qua cống ngầm (Hình 9-4).



Hình 9-4. Dòng chảy qua cống ngầm

II. CHẢY DƯỚI TẤM CHẮN CỬA CỐNG HỞ

1. Các hình thức nối tiếp qua cửa cống

Theo hình 9-3 cột nước toàn phần ở thượng lưu là:

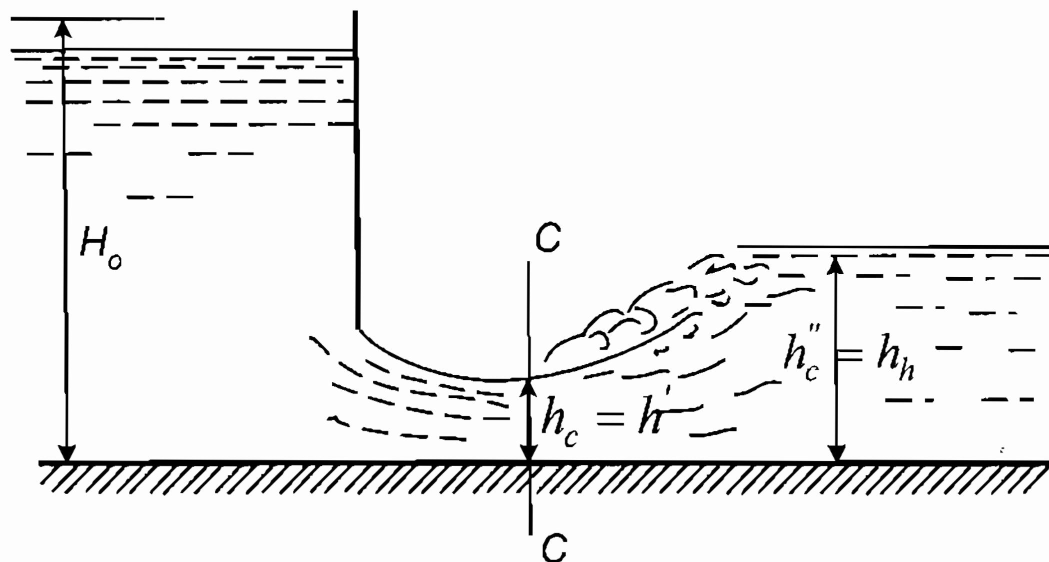
$$H_0 = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

Dòng chảy ra khỏi cửa cống cách cửa một khoảng bằng *a* thì co hẹp nhất với độ sâu là h_c. Tại mặt cắt co hẹp do trạng thái chảy ra là chảy xiết : $h_c < h_k$.

Nếu dòng chảy hạ lưu $h_h < h_k$ thì nối tiếp sau cống không qua nước nhảy. Nhưng thường gặp dòng chảy êm ở hạ lưu $h_h < h_k$ nên dòng chảy sau cống sẽ nối tiếp với hạ lưu qua nước nhảy.

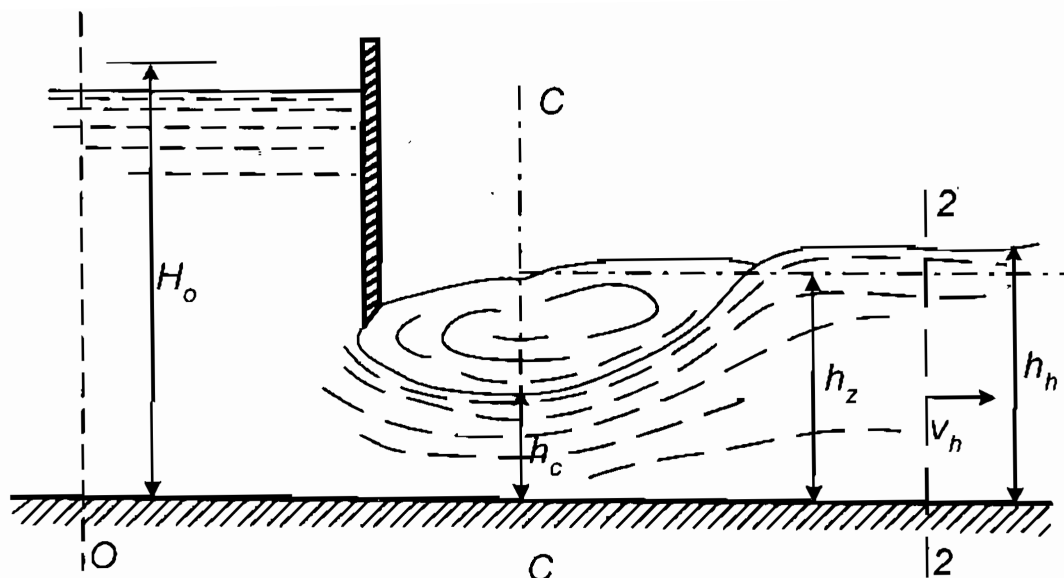
Cũng dùng h_c'' để so sánh với h_h ta sẽ có 3 dạng nối tiếp: nước nhảy xa với đường nước dâng c_o hoặc c_1; nước nhảy tại mặt cắt co hẹp; nước nhảy ngập.

Trong các dạng nối tiếp với nước nhảy xa, nhảy tại chỗ và không có nước nhảy thì mặt cắt co hẹp không bị ngập, chiều sâu hạ lưu không ảnh hưởng đến khả năng tháo của cửa cống nên gọi là *chảy không ngập* (Hình 9-5).



Hình 9-5. Chảy không ngập

Trong dạng nối tiếp với nước nhảy ngập dòng chảy hạ lưu ảnh hưởng đến khả năng tháo qua cống nên gọi là *chảy ngập* (Hình 9-6).



Hình 9- 6. Chảy ngập

2. Công thức tính toán dòng chảy dưới tấm chắn cửa cống

2.1. Chảy không ngập

Viết phương trình Becnuli cho hai mặt cắt *O-O* và *C-C* ta được:

$$H + \frac{\alpha v_o^2}{2g} = h_c + \frac{\alpha v_c^2}{2g} + \sum \zeta_c \frac{\alpha v_c^2}{2g}$$

Từ đó tính được vận tốc tại mặt cắt co hẹp v_c:

$$v_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta_c}} \sqrt{2g(H_0 - h_c)}$$

$$v_c = \varphi \sqrt{2g(H_0 - h_c)} \qquad (9\text{-}1)$$

Lưu lượng qua cống:

$$Q = \omega_c v_c = \varphi \omega_c \sqrt{2g(H_o - h_c)} \qquad (9\text{-}2)$$

Trong đó φ là hệ số vận tốc, được xác định bằng thực nghiệm chủ yếu phụ thuộc vào hình dạng và mức độ thu hẹp dòng chảy, độ nhám ở cửa vào.

Đối với cống có đáy ở ngang đáy kênh, đầu cống có tường cánh lượn tròn hoặc xiên, $\varphi = 0,95 \div 1,00$.

Cống có đáy cao hơn đáy kênh, cửa vào không thuận, $\varphi = 0,85 \div 0,95$. Độ sâu co hẹp h_c được viết là:

$$h_c = \varepsilon a \qquad (9\text{-}3)$$

ε - Hệ số co hẹp thẳng đứng.

Theo kết quả của Jucôpxki, ε chỉ phụ thuộc vào tỷ số a/H.

Thay (9-3) vào (9-2) ta được:

$$Q = \varphi \varepsilon ab\sqrt{2g(H_o - \varepsilon a)} \qquad (9\text{-}4)$$

Gọi $\mu = \varepsilon\varphi$ là hệ số lưu lượng thì:

$$Q = \mu ab\sqrt{2g(H_o - \varepsilon a)} \qquad (9\text{-}5)$$

Trong các công thức trên v_o lại phụ thuộc vào lưu lượng Q.

$$v_o \frac{Q}{\Omega_t}$$

Ω_t là diện tích mặt cắt kênh thượng lưu.

$$H_o = H + \frac{\alpha Q^2}{2g\Omega_t^2}$$

Thay vào (9-5) ta được:

$$Q = \frac{\mu\omega\sqrt{2g(H - h_c)}}{\sqrt{1 - \alpha\mu^2 \frac{\omega^2}{\Omega_t^2}}} \qquad (9\text{-}6)$$

Theo công thức này ta thấy khi $\frac{\omega}{\Omega_t}$ nhỏ thì mẫu số có thể cho bằng 1, nghĩa là $H_o = H$. Với $\frac{\omega}{\Omega_t} < 0,2$ mà coi $H_o = H$ thì sai số cũng chỉ dưới 1%.

2.2. Chảy ngập

Trong chảy ngập thì tại chỗ mặt cắt co hẹp có khu chảy cuộn (Hình 8-5), độ sâu không phải là h_c mà bằng h_z $(h_c < h_z < h_h)$. Dòng chính ở dưới khu nước cuộn vẫn có độ sâu bằng $h_c = \varepsilon a$.

Cũng viết phương trình Becnuli cho hai mặt cắt *O-O* và *C-C* và cho rằng áp suất tại khu nước cuộn trên mặt cắt co hẹp cũng phân bố theo quy luật thuỷ tĩnh, sau khi sắp xếp lại ta được vận tốc tại mặt cắt co hẹp là:

$$v_c = \varphi\sqrt{2g(H_0 - h_z)} \qquad (9\text{-}7)$$

$$Q = \varphi\omega_c\sqrt{2g(H_0 - h_z)} \qquad (9\text{-}8)$$

ε, φ và μ trong điều kiện $\frac{a}{H} \le 0{,}75$ vẫn như trường hợp chảy không ngập.

Công thức tính Q cho trường hợp chảy ngập về kết cấu giống như cho chảy không ngập (9-6) chỉ thay $h_c = h_z$.

Trong trường hợp bài toán phẳng h_z cũng được tính từ công thức nước nhảy ngập:

$$h_z = \sqrt{h_h^2 - \frac{2\alpha_o q^2}{g}\frac{(h_h - h_c)}{h_h h_c}} \qquad (9\text{-}9)$$

Công thức này cho ta tính h_z khi đã biết q, a.

Có hai dạng bài toán :

+ *Cho biết H_o, a. Xác định q:*

- Giải : Cho $\alpha_o = 1$ và sắp xếp lại ta được:

$$h_z^2 = h_h^2 - 4\mu^2 a^2 (H_o - h_z)\frac{h_h - h_c}{h_h h_c}$$

đặt $$M = 4\mu^2 a^2 \frac{h_h - h_c}{h_h h_c} \qquad (9\text{-}10)$$

Phương trình trên trở thành:

$$h_z^2 - Mh_z + (MH_o - h_h^2) = 0$$

Giải phương trình bậc 2 này đối với h_z ta được:

$$h_z = \sqrt{h_h^2 - M\left(H_o - \frac{M}{4}\right)} + \frac{M}{2} \qquad (9\text{-}11)$$

+ *Cho biết q, H_o. Xác định a, h_c:*

- Giải: thay v_c theo (9-7) vào (9-11) ta được:

$$h_z^2 = h_h^2 - \frac{2\alpha_o q}{g}\left[\varphi\sqrt{2g(H_o - h_z)} - \frac{q}{h_h}\right]$$

đặt

$$\left.\begin{aligned} A &= 2\sqrt{\frac{2}{g}}\alpha_o \varphi q \\ B &= h_h^2 + \frac{2\alpha_o q^2}{g h_h} \end{aligned}\right\} \qquad (9\text{-}12)$$

ta được $h_z^2 + A\sqrt{H_o - h_z} - B = 0$ (9-13)

Phương trình trên được giải bằng thử dần để tìm h_Z.

Khi độ chênh thượng hạ lưu ít và tấm chắn cửa cống mở cao, tức là $\frac{a}{H} > 0,75$ thì độ sâu sau cửa cống coi như bằng độ sâu hạ lưu.

Khi diện tích lỗ cống nhỏ so với kênh hạ lưu, ngập sâu trong kênh thì nước nhảy sau cống hoàn toàn bị ngập, lúc đó ta cũng có $h_Z = h_h$

Trong 2 trường hợp đó ta tính cống như một lỗ chảy ngập:

$$Q = M\omega\sqrt{2gz_o} = \mu\omega\sqrt{2g(H_o - h_h)} \qquad (9\text{-}14)$$

$\mu = 0,65 \div 0,75$

2.3. Tấm chắn hình cung và tấm chắn phẳng đặt nghiêng

Các hiện tượng vật lý của trường hợp này đều như của tấm chắn phẳng, chỉ khác là do cửa vào lượn tròn và nghiêng, dòng chảy ít bị co hẹp và ít tổn thất nên các trị số φ, μ và ε đều có thay đổi ít nhiều. Tuy nhiên các kết quả nghiên cứu về mặt này chưa nhiều.

Ta có thể tham khảo các số liệu sau đây:

+ Tấm chắn hình cung (Hình 9-7):

- Chảy không ngập: $\mu = 0,58$
- Chảy ngập: $\mu = 0,60 \div 0,63$

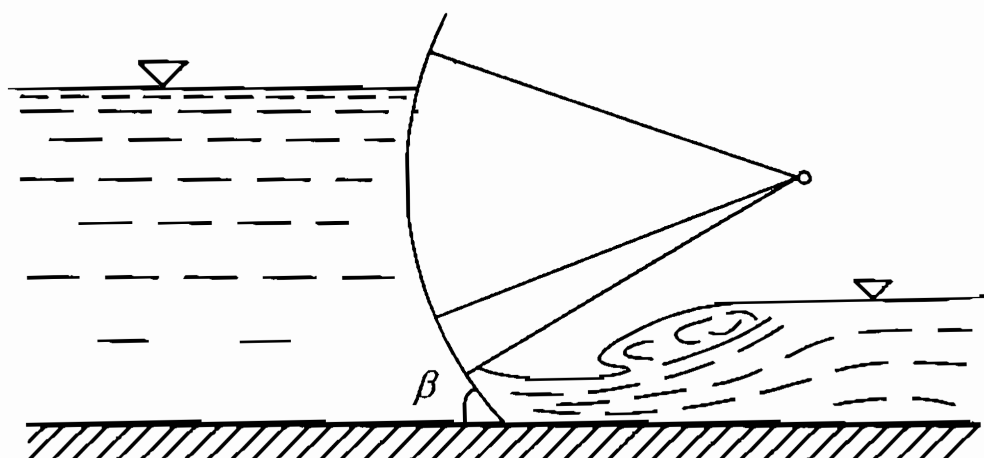
khi $\beta > 24^o$

- Chảy không ngập: $\mu = 0,5 + 0,4\ sin^2\beta$
- Chảy ngập: $\mu = 0,52 + 0,4\ sin^2\beta$

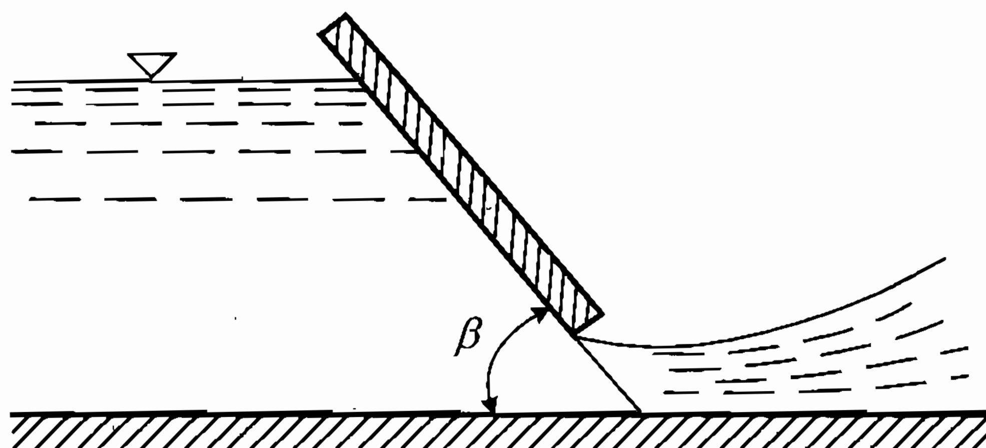
+ Tấm chắn đặt nghiêng (Hình 9-8):

ε, φ đều phụ thuộc vào góc nghiêng và độ mở $\frac{a}{H}$. Một cách gần đúng có thể lấy $\varphi = 0,97$ và ε theo bảng:

β^o	0	30	70	90	110
ε	1,00	0,80	0,65	0,61	0,59



Hình 9-7. Tấm chắn hình cung



Hình 9-8. Tấm chắn đặt nghiêng

III. CHẢY QUA CỐNG NGẦM

Nhiều cống dưới đê, đập, đường có mặt cắt khép kín. Hình dạng mặt cắt thường là tròn hoặc chữ nhật trên đỉnh có trần phẳng hoặc vòm, chiều dài thân cống khá lớn, ta gọi là *cống ngầm*.

Có thể có 3 hình thức sau đây:

+ Khi tấm chắn cửa cống được kéo lên khỏi mặt nước (mở hết), cao trình mực nước trước cống (∇MNTC) và cao trình mực nước trong cống (∇MNTGC) đều thấp hơn cao trình đỉnh cống (∇ĐC) thì chế độ chảy trong cống là *chảy không áp*.

+ Khi dòng chảy đầy mặt cắt cống thì chế độ chảy là *chảy có áp*.

+ Khi ∇MNTL ngập đỉnh cống nhưng dòng chảy sau cửa cống vẫn thấp hơn đỉnh cống, có mặt thoáng thì trong cống có hai chế độ chảy, phần trước là có áp, còn phần sau là không áp. Ta gọi là cống *chảy nửa áp*.

- Chế độ chảy không áp đã được xét trong chương đập tràn, ở đây ta chỉ xét chế độ *chảy nửa áp* và *chảy có áp*.

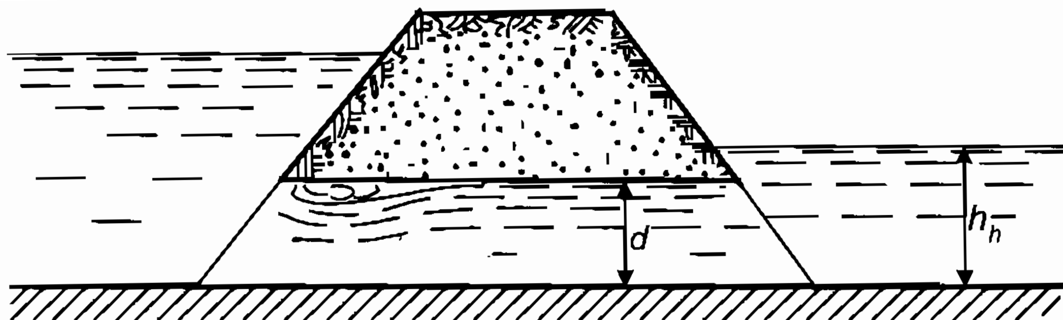
- Về cơ bản ta phải dựa trên các kết quả nghiên cứu về chảy qua lỗ dưới cửa cống hở (đối với chảy nửa áp) và chảy qua vòi (đối với chảy có áp). Điều khác nhau ở đây là phải xét chi tiết ảnh hưởng của chiều dài cống, độ dốc và độ nhám thân cống.

1. Điều kiện chảy nửa áp và chảy có áp

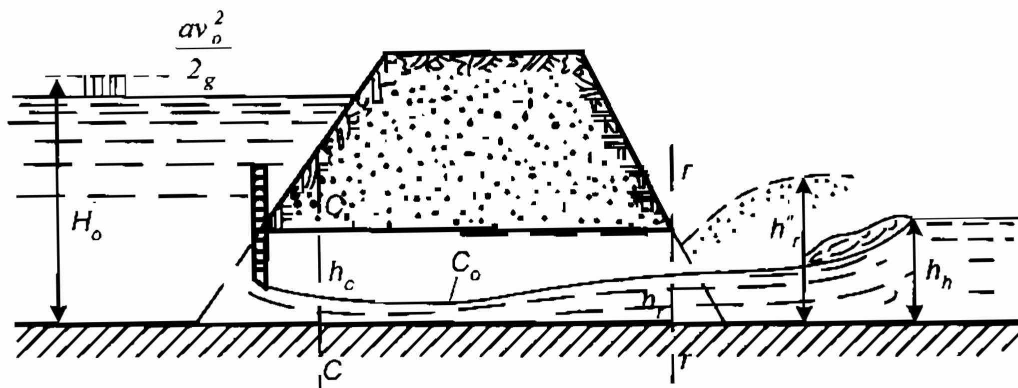
Khi gặp một cống có mực nước thượng lưu ngập đỉnh cống, ta cần xác định lúc nào cống làm việc với chế độ chảy nửa áp, lúc nào có áp. Điều này hết sức quan trọng vì hai chế độ chảy đó có công thức tính toán khác nhau và vì mỗi chế độ chảy có những điều kiện làm việc khác nhau cho công trình về nhiều mặt: ổn định, chống chấn động, chống thấm...

Nguyên tắc xác định chế độ chảy trong cống rất đơn giản: chỉ cần vẽ đường mặt nước trong một lòng cống không có trần tương ứng, nếu đường mặt nước đó vượt quá trần cống thì cống là chảy có áp (Hình 9-9), nếu không thì là chảy nửa áp (Hình 9-10).

Đối với cống có mặt cắt không phải là chữ nhật thì hiện nay chưa có nhiều kết quả nghiên cứu chính xác nên cũng có thể lấy gần đúng như cống có mặt cắt hình chữ nhật.



Hình 9-9. Chảy có áp



Hình 9-10. Chảy nửa áp

Ta phân tích hiện tượng chảy để xác định chế độ chảy có áp hay nửa áp trong các trường hợp sau đây:

1.1. $h_n > d$, độ sâu hạ lưu ở cửa ra cao hơn đỉnh cống (Hình 9-9)

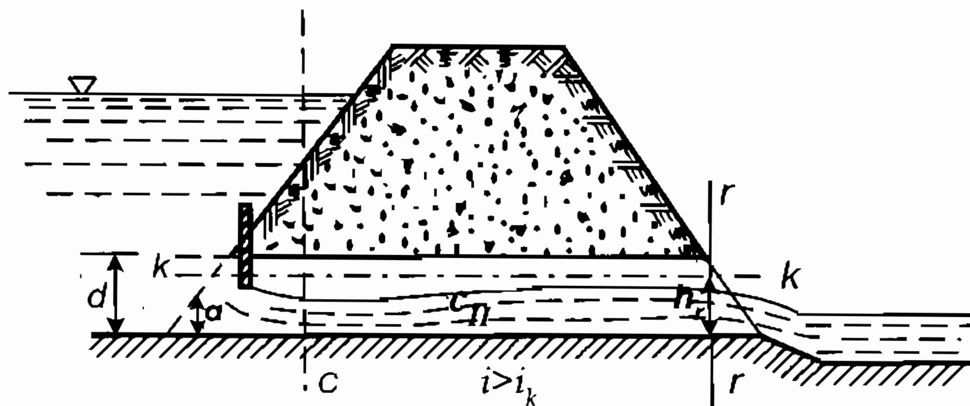
Nói chung là chảy có áp, cửa ra bị ngập.

Chỉ là chảy nửa áp trong trường hợp cống ngắn và cột nước H lớn dòng chảy xiết phóng ra ngoài cửa cống, độ sâu ở cửa ra là $h_r < h_k$ và độ sâu liên hiệp với h_r là h_r'' lớn hơn độ sâu hạ lưu h_n : $h_r'' > h_n$.

1.2. $h_n < d$, độ sâu hạ lưu thấp hơn đỉnh cống

+ Trường hợp $i > i_k$ (Hình 9-11)

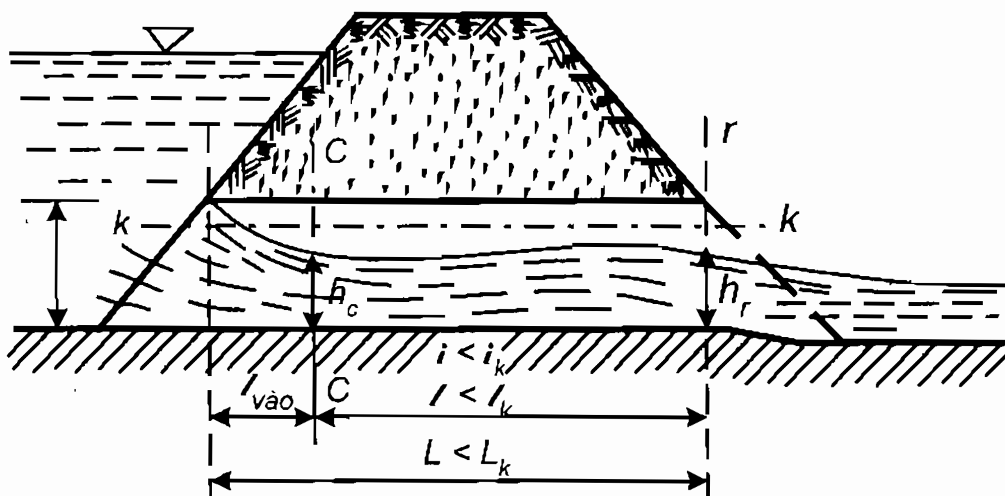
Nói chung là chảy nửa áp, dòng chảy sau mặt cắt co hẹp sẽ theo đường nước dâng c_{II}. Chỉ có áp khi đường nước dâng c_{II} về đến cuối cống tại mặt cắt $(r\text{-}r)$, có độ sâu h_r lớn hơn chiều cao cống : $d < h_r$.



Hình 9-11. Trường hợp $i > i_k$

Các cống có đỉnh hình vòm cong tròn không bao giờ thoả mãn điều kiện này để chảy có áp vì với đường mặt nước c_{II} thì $h_r < h_o < h_k$, mà cống có vòm bao giờ cũng có $h_k < d$, vì vế trái của phương trình cơ bản xác định chiều sâu phân giới ($\alpha Q^2 / g = \omega_k / B_k$) có lớn bao nhiêu ta vẫn có thể tìm được một độ sâu $h_k < d$ có B đủ nhỏ để vế phải bằng vế trái do B ở gần đỉnh có thể rất nhỏ.

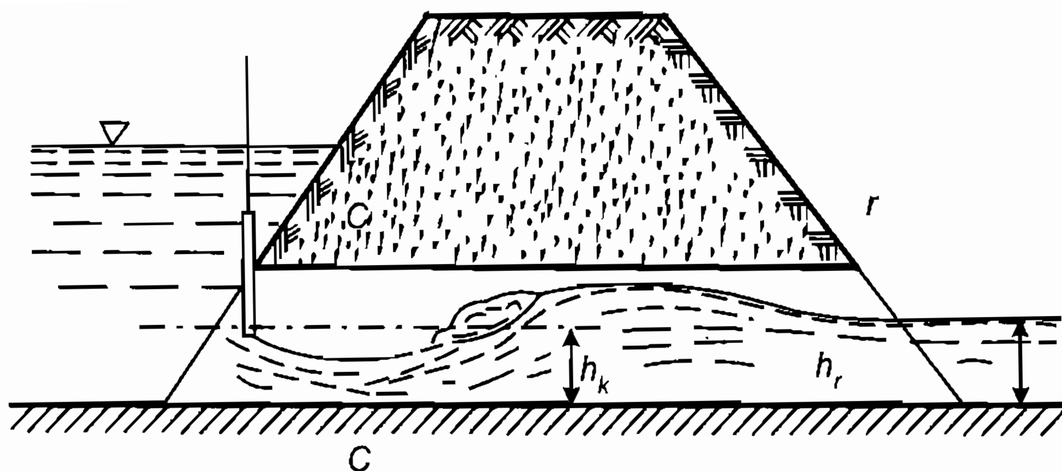
+ Trường hợp $0 < i < i_k$ (Hình 9-12)



Hình 9-12. Trường hợp $0 < i < i_k$

Cống chảy nửa áp trong hai trường hợp:

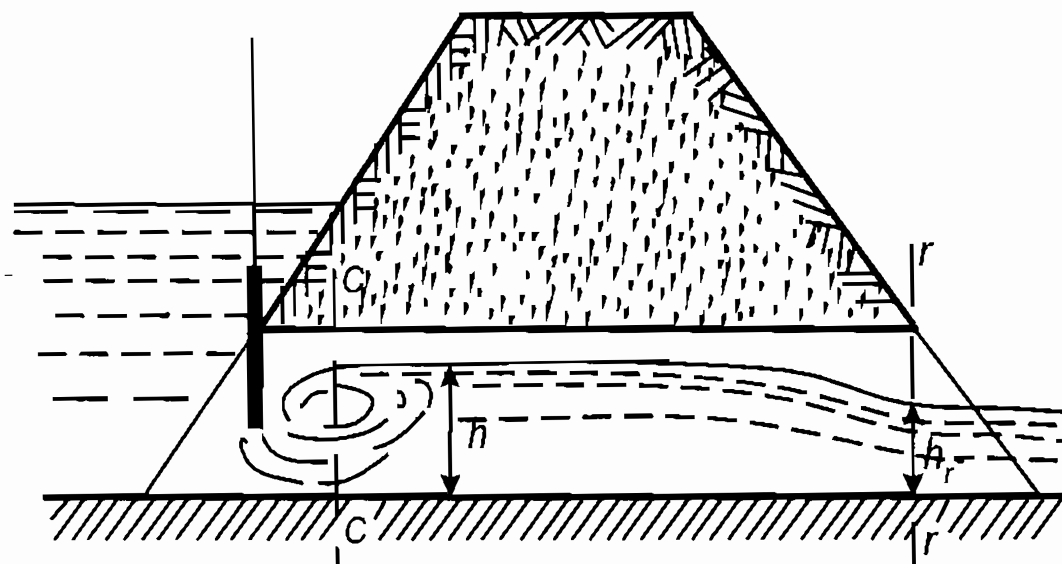
* Không có nước nhảy trong cống (Hình 9-13), dòng chảy trong cống hoàn toàn là nước chảy xiết theo đường c_I hoặc c_o.



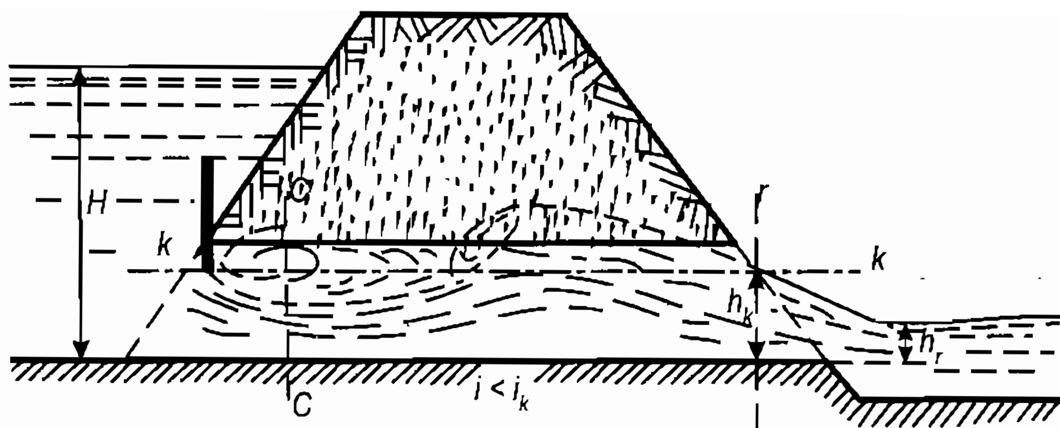
Hình 9-13. Trường hợp không có nước nhảy

* Có nước nhảy trong cống (Hình 9-14) nhưng độ sâu sau nước nhảy vẫn thấp hơn đỉnh cống $h'' < d$.

Cống chảy có áp nếu có nước nhảy trong cống và độ sâu sau nước nhảy cao hơn đỉnh cống (nước nhảy giả định tương ứng với trường hợp cống có trần — Hình 9-15).



Hình 9-14. Trường hợp có nước nhảy



Hình 9-15. Nước nhảy giả định

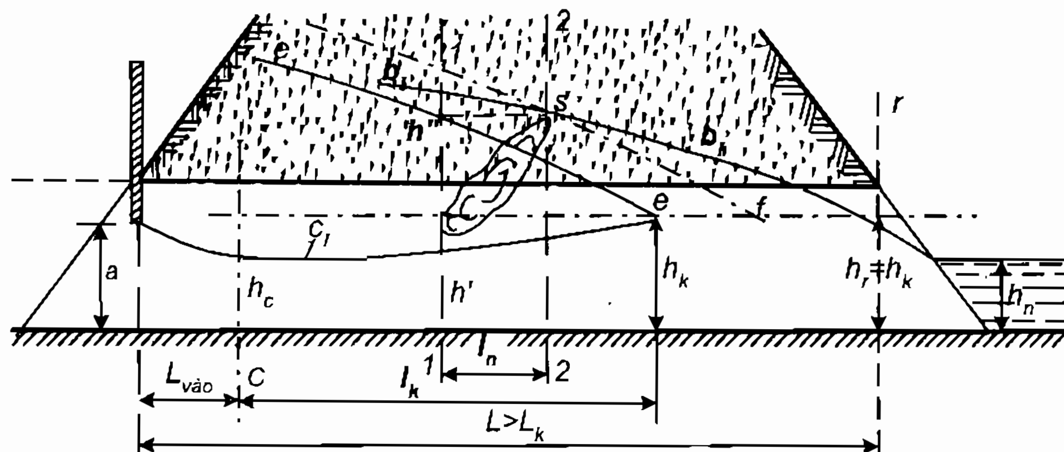
Do đó, muốn biết chế độ chảy trong cống có $i < i_k$ ta cần biết vị trí của nước nhảy và chiều sâu sau nước nhảy.

Xét sự nối tiếp theo hình 9-16:

Trước nước nhảy là đoạn chảy xiết c_1 hoặc c_o, sau nước nhảy là đoạn chảy êm theo b_1 hoặc b_o bắt đầu từ 2 - 2 và tận cùng là h_r ở cửa ra.

Độ sâu h_r lấy theo: $h_r = h_n$ nếu $h_n > h_k$

và $h_r = h_k$ nếu $h_n < h_k$



Hình 9-16. Xác định chế độ chảy trong cống có $i < i_k$

Cách xác định vị trí nước nhảy:

+ Vẽ đường c_I hoặc c_o bắt đầu từ c- c

+ Vẽ đường e- e có độ sâu liên hiệp với đường c_I (hoặc c_o) bằng cách lấy một số điểm trên đường c_I và tính ra độ sâu liên hiệp tương ứng.

+ Tịnh tiến đường e- e về phía hạ lưu một đoạn bằng chiều dài nước nhảy L_n được đường f-f.

+ Vẽ đường b_I (hoặc b_o) bắt đầu từ cửa dưới cống có độ sâu h_r và vẽ ngược lên phía đầu cống. Đường b_I này cắt đường f-f tại điểm S có độ sâu h''. Đó chính là độ sâu sau nước nhảy có thể xảy ra trong cống.

Nếu $h'' < d$ thì cống chảy nửa áp, 2-2 chính là vị trí thực tế của mặt cắt sau nước nhảy.

Nếu h'' > d thì cống chảy có áp (thực tế không có nước nhảy nữa). Trường hợp này thường gặp hơn.

Việc xác định như trên thường mang ý nghĩa lý luận. Trong thực tế vì độ sâu phân giới thường lớn hơn hoặc gần bằng chiều cao cống, còn độ sâu sau nước nhảy h'' thường lớn hơn chiều cao cống, tức là nếu đã có nước nhảy thì trong cống thường là chảy có áp. Do vậy, người ta thường dùng chỉ tiêu trong cống có nước nhảy hay không để phân biệt cống chảy có áp hay nửa áp. Cũng như đối với cống chảy không áp ở đây ta cũng phân biệt cống dài và cống ngắn:

+ Cống ngắn (Hình 9-17) là cống không có nước nhảy trong cống khi cửa cống được mở hết (khi $h_r < h_k$ và vẫn $< d$).

+ Cống dài (Hình 9-18) là cống có nước nhảy trong cống. Đường nước dâng c_I hoặc c_o của cống dài kết thúc trong phạm vi lòng cống hoặc đến chỗ chạm vào đỉnh cống khi $h_k > d$. Cống dài thường là chảy có áp ngay cả khi mực nước hạ lưu thấp ($h_n < h_k$).

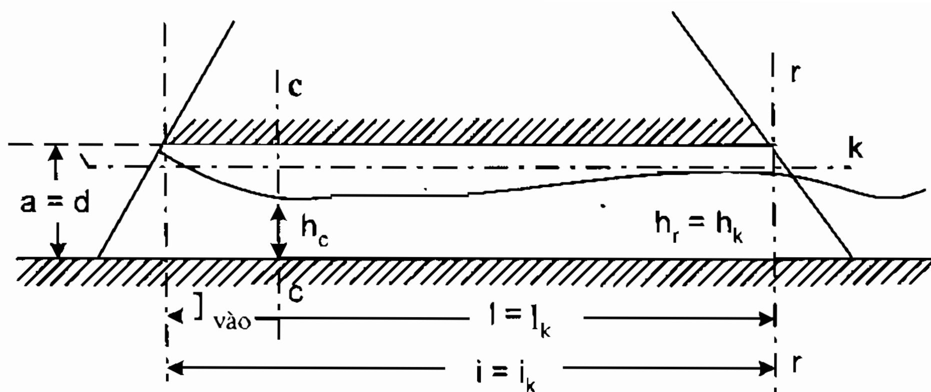
Ta cũng có trường hợp phân giới, mà tiêu chuẩn phân giới là:

$h_r = h_k$ (nếu $h_k < d$) - (Hình 9-17) ; hoặc $h_r = d$ (nếu $h_k > d$) - (Hình 9-18).

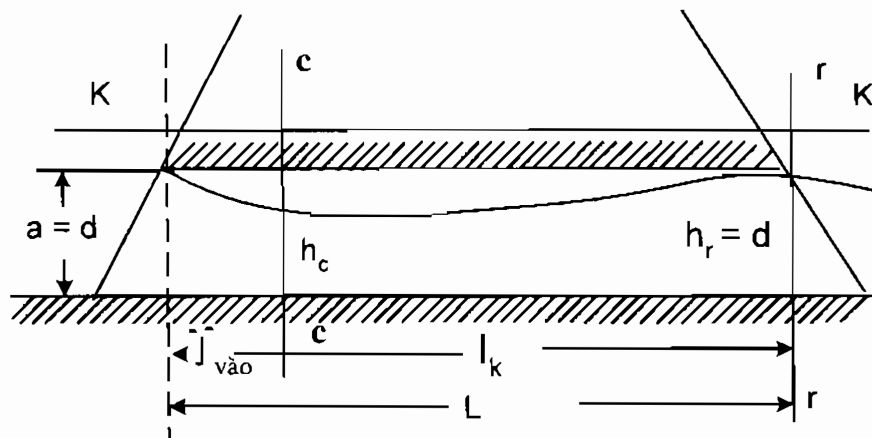
Tính L_k bằng cách tính dòng không đều với độ sâu ở đầu là $h_c = \varepsilon d$ và độ sâu ở cuối bằng h_k (khi $h_k < d$) và bằng d (khi $d < h_k$). Còn l_{vao} xác định bằng công thức kinh nghiệm.

Vậy : + Cống ngắn là cống có $L < L_k$;

+ Cống dài là cống có $L > L_k$.



Hình 9-17. Cống ngắn



Hình 9-18. Cống dài

2. Công thức tính cống ngầm chảy nửa áp và có áp

1. Chảy nửa áp (Tính như cống hở):

+ Chảy không ngập:

$$Q = \varphi\omega_c\sqrt{2g(H_o - h_c)} \qquad (9\text{-}15)$$

+ Chảy ngập:

$$Q = \varphi\omega_c\sqrt{2g(H_o - h_z)} \qquad (9\text{-}16)$$

Khác với chảy hở là trong khi tính h_z theo (9-9) thì phải thay h_n bằng h_x tại mặt cắt c- c của dòng không đều trong cống. Độ sâu h_x được xác định bằng cách vẽ đường mặt nước từ cửa ra ngược lên cửa vào đến c- c với h_r là:

$h_r = h_k$ khi $h_n < h_k$ và $h_r = h_n$ khi $h_n > h_k$

2. *Chảy có áp* (tính như vòi hoặc ống ngắn):

$$Q = \varphi_c \omega \sqrt{2gz_o} \quad (9\text{-}17)$$

Trong đó: ω - diện tích mặt cắt cống;

$$z_o = z + \frac{\alpha v_o^2}{2g}$$

Với z là chênh lệch mực nước thượng hạ lưu khi mực nước hạ lưu ngập quá 1/2 chiều cao cửa ra;

Và z là cột nước thượng lưu so với tấm cửa ra nếu mực nước hạ lưu thấp hơn 1/2 chiều cao cửa ra.

Vậy (9-17) có thể viết thành:

+ Khi $h_n > d/2$ (Hình 9-19):

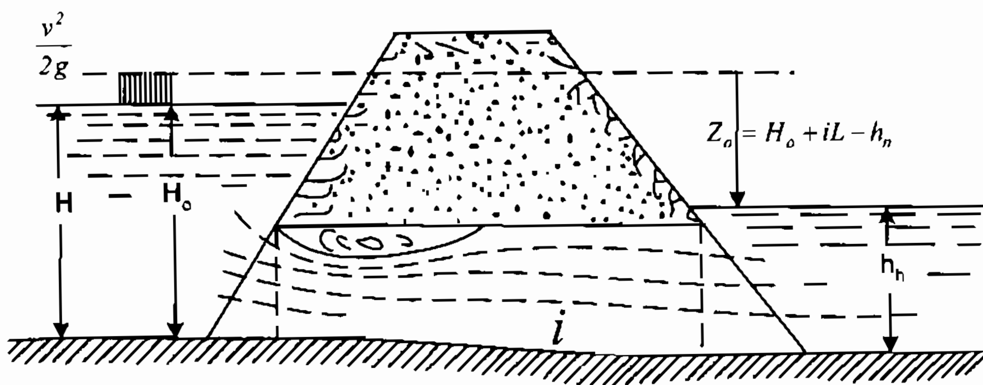
$$Q = \varphi_c \omega \sqrt{2g\left(H_o + iL - h_n\right)} \quad (9\text{-}18)$$

+ Khi $h_n < d/2$ (Hình 9-20):

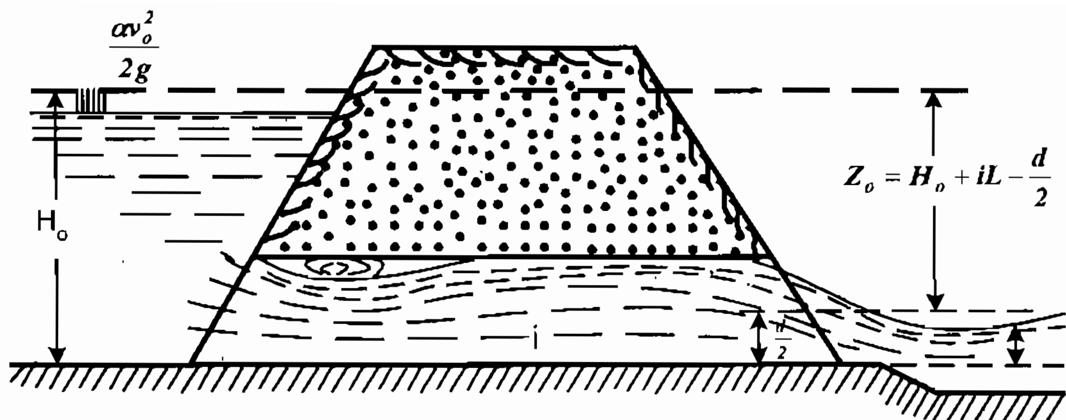
$$Q = \varphi_c \omega \sqrt{2g\left(H_o + iL - \frac{a}{2}\right)} \quad (9\text{-}19)$$

Trong đó:

$$\varphi_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \xi_c + \frac{\lambda L}{4R}}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \xi_c + \frac{2gL}{C^2 R}}} \quad (9\text{-}20)$$



Hình 9-19. Khi $h_n > d/2$



Hình 9-20. Khi $h_n < d/2$

IV. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 9-1

Tính lưu lượng Q chảy dưới cửa cống phẳng với $H = 2,5m$, $v_o \approx 0$, $a = 0,5$, $h_h = 2m$, $b = 2,8m$, $\varphi = 0,9$.

Giải:

$v_o \approx 0$ dẫn đến $H_o = H$

$$\frac{a}{H} = \frac{0,5}{2,5} = 0,2$$

Tra bảng phụ lục: $\varepsilon = 0,62$

$h_c = \varepsilon a = 0,62 \times 0,5 = 0,31m$

$h_c'' = \tau_c H = 0,534 \times 2,5 = 1,335m$

$h_c < h_h$ cống ở trạng thái chảy ngập:

$$Q = \varphi\varepsilon ab\sqrt{2g(H - h_z)}$$

$$h_z = \sqrt{h_h^2 - M\left(H_o - \frac{M}{4}\right)} + \frac{M}{2}$$

$$M = 4\varepsilon^2\varphi^2 a^2 \frac{h_h - h_c}{h_c h_h} = 4 \times 0,62 \times 0,9^2.0,5^2 \frac{2 - 0,31}{2 \times 31} = 0,85$$

$$h_z = \sqrt{2^2 - 0,85\left(2,5 - \frac{0,85}{4}\right)} + \frac{0,85}{2}$$

$$= \sqrt{4 - 1,944} + 0,425 = 1,86m$$

$$Q = \varepsilon\varphi ab\sqrt{2g(H - h_z)}$$

$$= 0,62 \times 0,9 \times 0,5 \times 2,8 \times 4,43\sqrt{2,5 - 1,86} = 2,76\, m^3/s$$

Ví dụ 9-2

Tính độ cao mở cống a để tháo lưu lượng $2,25m^3/s$ dưới cửa cống phẳng lộ thiên với $H_o = 2,5m$, $b = 4,5m$, $h_h = 2m$, $\varphi = 0,95$.

Giải:

Xác định chế độ chảy:

$$F(\tau_c) = \frac{q}{\varphi H_o^{3/2}} = \frac{2,25}{4,5 \times 0,95.(2,5)^{3/2}} = 0,133$$

$$\tau_c = 0,035$$

$$\tau_c' = 0,31\ ;\ h_c'' = H_o\tau_c' = 0,31 \times 2,5 = 0,775$$

$h_c'' < h_h$ vậy cống chảy ngập.

Vậy $h_c = \varepsilon a = \dfrac{Q}{\varphi b\sqrt{2g(H_o - h_z)}}$

Ta phải tính h_z theo công thức:

$$h_z^2 + A\sqrt{H_o - h_z} - B = 0$$

$$A = 2\sqrt{\frac{2}{g}} \times \alpha\varphi q = 2\sqrt{\frac{2}{9,81}} \times 1 \times 0,95 \times \frac{2,25}{4,5} = 0,42m^{3/2}$$

$$B = h_h^2 + \frac{2\alpha_o q^2}{gh_h} = 2^2 + \frac{2 \times 1 \times 2,25^2}{9,81 \times 2 \times 4,5^2}$$

$$= 4,025m^2$$

Thay vào phương trình trên giải ra được:

$h_z = 1,95$

$$h_c = \varepsilon a = \frac{2,25}{0,95 \times 4,5 \times 4,43\sqrt{2,5 - 1,95}} = 0,16$$

$$\tau_c = \frac{h_c}{H} = \frac{\varepsilon a}{H} = \frac{0,16}{2,5} = 0,064$$

Tra bảng phụ lục được $\frac{a}{H} = 0,1$

Vậy $a = 0,1H = 0,1 \times 2,5 = 0,25m$

Ví dụ 9-3

Tính độ sâu H trước cống phẳng lộ thiên với $b = 5,0m$, $a = 0,8m$. Biết lưu lượng $Q = 10\ m^3/s$, $h_h = 2m$, $\varphi = 0,95$.

Giải

Xác định chế độ chảy:

Giả thiết $\varepsilon = 0,625$

$H_c = \varepsilon a = 0,625.0,8 = 0,5m$

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{10}{5} = 2\ m^2/s$$

$$h_c'' = \frac{h_c}{2}\left[\sqrt{1 + 8\frac{\alpha q^2}{g h_c^3}} - 1\right]$$

$$= \frac{0,5}{2}\left[\sqrt{1 + 8\frac{2^2}{9,81.0,5^2}} - 1\right] = 1,04m$$

$h_c'' > h_h$ - chảy ngập sau cống.

$$Q = \varepsilon\varphi ab\sqrt{2g(H_o - h_z)}$$

$$H_o = \frac{q^2}{\varphi^2 \varepsilon^2 a^2 2g} - h_z$$

$$h_z = \sqrt{h_h - \frac{2\alpha_o q^2}{g} \times \frac{h_h - h_c}{h_h h_c}}$$

$$= \sqrt{2 - \frac{2 \times 2^2}{9{,}81} \cdot \frac{2 - 0{,}5}{2 \times 0{,}5}} = 1{,}67m$$

$$H_o = \frac{2^2}{0{,}95^2 \times 0{,}625^2 \times 0{,}8^2 \times 19.62} - 1{,}67$$

$$= 2{,}57m$$

Tính lại để kiểm tra giả thiết $\varepsilon = 0{,}625$.

$$\frac{a}{H} \approx \frac{a}{H_o} = \frac{0{,}8}{2{,}57} = 0{,}31$$

Tra bảng phụ lục có $\varepsilon = 0{,}626$

Như vậy $\varepsilon_{tt} \approx \varepsilon_{gt}$

$$H_o = H + \frac{\alpha v_o^2}{2g}$$

$$H = H_o - \frac{\alpha v_o^2}{2g} = 2{,}57 - \frac{Q^2}{(bH_o)^2} \frac{1}{2g}$$

$$= 2{,}54m$$

Ví dụ 9- 4

Cống lấy nước qua thân đập đất mặt cắt tròn, đường kính d = 1,5m, dài l = 50m (kể từ cửa cống đến cửa ra), n = 0,014, đáy nằm ngang i = 0. Tính lưu lượng Q khi mở cống hoàn toàn. H = 10m, h_n = 1. Chế độ chảy cho biết là nửa áp.

Giải:

$$Q = \varphi . \omega_c . \sqrt{2g(H_o - h_c)}$$

$h_c = \varepsilon . a$ lấy theo hình chữ nhật H_o = 10m, a = d = 1,5m.

$$\frac{a}{H_o} = \frac{1,5}{10} = 0,15$$

Theo bảng phụ lục 10: ε = 0,618

$$h_c = \varepsilon.a = 0,618 \times 1,5 = 0,927m$$

$$S_c = \frac{h_c}{d} = \frac{0,927}{1,5} = 0,618$$

Tra bảng phụ lục:

$$\varpi = \frac{\omega_c}{d^2} = 0,51$$

$$\omega_c = \varpi.d^2 = 0,51 \,.\, 1,5^2 = 1,15m^2$$

$$Q = \varphi\omega_c.\sqrt{2g(H_o - h_c)}$$

$$= 0,95 \,.\, 1,15 \,.\, 4,43\sqrt{(10 - 0,907)} = 14,73m^3/s$$

Ví dụ 9- 5

Cống tròn dưới đê dài L = 160m, d = 1,50m, b = 1,2m, n = 0,014, i = 0. Xác định hình thức chảy và chiều cao cột nước H_o trước cống khi mở van hoàn toàn Q = 8m³/s, h_n = 2m.

Giải:

H_n > d sẽ là chảy ngập nếu h_r > d, $q = \frac{Q}{b} = \frac{8}{1,2} = 6,67m^2/s$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{6,67^2}{9,81}} = 2,13 > d$$

Giả thiết ε = 0,62 → h_c = ε.a = 0,62 . 1,5 = 0,93m. Xác định chiều dài đoạn nước dâng c_o từ cc đến h = h_d = d.

$$l_{cd} = \frac{\Delta Э}{i - J} = \frac{Э_d - Э_c}{i - J} \quad ; \quad Э_c = h_c + \frac{\alpha v_c^2}{2g}$$

$$= 0,93 + 2,62 = 3,55m$$

$$Э_d = h_d + \frac{\alpha v_d^2}{2g} = 1,5 + 1,45 = 2,95m$$

$$J = \frac{J_c + J_d}{2}$$

$$J_c = \frac{v_c^2}{\left(C^2R\right)_c} = \frac{44,5}{2624} = 0,017$$

$$J_d = \frac{v_d^2}{\left(C^2R\right)_d} = \frac{28,4}{(91,3)^2} = 0,003$$

$$\bar{J} = \frac{0.017 + 0,003}{2} = 0,01$$

$$l_{cc} = \frac{2,95 - 3,55}{-0,01} = 60m$$

$l_{cd} < L$ dòng chảy trong cống là chảy ngập khi $h_n > d$

$$Q = \varphi_c.\omega\sqrt{2g(H_o - h_n)}$$

$$\varphi_c = \frac{1}{\sqrt{\sum\xi_c + \frac{2gL}{C^2R}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,5\frac{2\times 9,81.100}{(91,3)^2}}} = 0,75$$

$$H_o - h_n = \frac{Q^2}{\varphi^2\omega^2 2g} = \frac{64}{0,503\,.\,3,24\,.\,19,62} = 1,76m$$

$H_o = 1,76 + h_n = 3,76m$

Bài tập 9-1

Xác định lưu lượng Q chảy dưới của cống phẳng $H = 2m$, $v_o = 0,75\ m/s$, $a = 0,7m$, $b = 3m$, $\varphi = 0,95$, $h_h = 1,2m$.

Đáp số: $Q = 7m^3/s$

Bài tập 9-2

Tính độ cao mở cống a để tháo lưu lượng $Q = 6m^3/s$ dưới cửa cống phẳng lộ thiên với $H_o = 4m$, $b = 3m$, $h_h = 1,5$, $\varphi = 0,95$.

Đáp số: $a = 0,4m$

Bài tập 9-3

Cống chữ nhật $b = 4m$, cửa cống mở cao $a = 0,6m$, lưu lượng $Q = 8m^3/s$. Tính độ sâu trước cống, biết $h_h = 1,5m$, $\varphi = 0,95$, $B_h = 6m$.

Đáp số: $H = 2,4m$

Bài tập 9-4

Cống lấy nước dưới đập mặt cắt chữ nhật có $b = 1,2m$ đáy nằm ngang $i = 0$, $d = 1,6m$, $b = 250m$, bằng bê tông $n = 0,014$, lưu lượng $Q = 14,5m^3/s$ khi mở toàn bộ cống, $H = 10m$, $h_n = 1,4m$. Xác định chế độ chảy.

Đáp số: $h_n < d$ - *dòng chảy trong cống là nửa áp*.

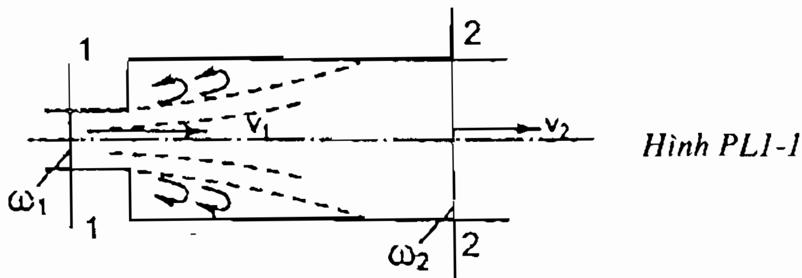
PHỤ LỤC 1

Tổn thất cục bộ trong ống có áp

1) Trị số hệ số tổn thất cục bộ trong trường hợp mở rộng đột ngột (H.PL1-1)

$$h_w = \zeta \frac{v_2^2}{2} \quad ; \quad \zeta = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$$

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ζ	81	64	49	36	25	16	9	4	1	0

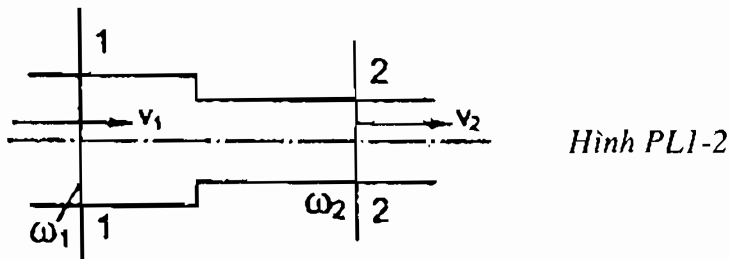


Hình PL1-1

2) Thu hẹp đột ngột (H.PL1-2).

$$h_w = \zeta \frac{v_2^2}{2g}$$

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
ζ	0,5	0,45	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00

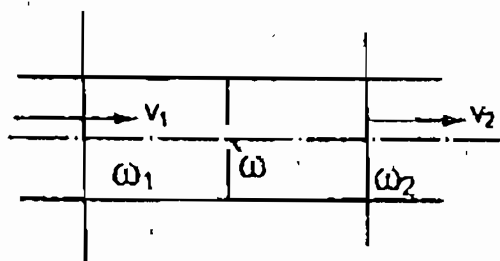


Hình PL1-2

3) Lá chắn trong ống (H.PL1-3).

$$h_w = \zeta \frac{v_2^2}{2g} \quad ; \quad \zeta = \left(1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - \frac{\omega}{\omega_2}}}\right)^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$$

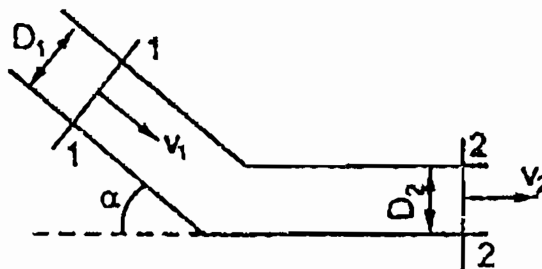
$\frac{\omega}{\omega_1}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ	1070	245	51,0	18,4	8,2	4,0	2,0	0,97	0,41	0,26	-



Hình PL1-3

4) Trị số ζ khi $d_1 = d_2$ phụ thuộc góc ngoặt đột ngột của ống có tiết diện tròn (H.PL1-4)

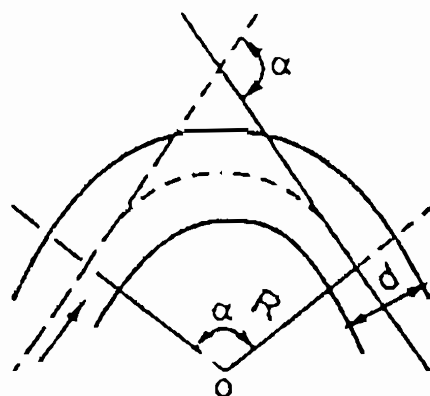
Góc ngoặt của ống: α	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0
Hệ số tổn thất ζ	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10



Hình PL1-4

5) Trị số ζ phụ thuộc đường kính ống khi ngoặt đột ngột với góc $\alpha = 90^0$ (H.PL1-5)

Đường kính ống d, mm	20	25	34	39	49
Hệ số tổn thất ζ	1,7	1,3	1,1	1,0	0,83



Hình PL1-5

6) Trị số ζ khi ống ngoặt dần với góc α

$$\zeta = \left[0,131 + 0,163\left(\frac{d}{R}\right)^{3,5}\right]\frac{\alpha}{90^0} = \zeta'\frac{\alpha}{90^0}$$

ζ là hệ số sức cản khi $\alpha = 90^0$

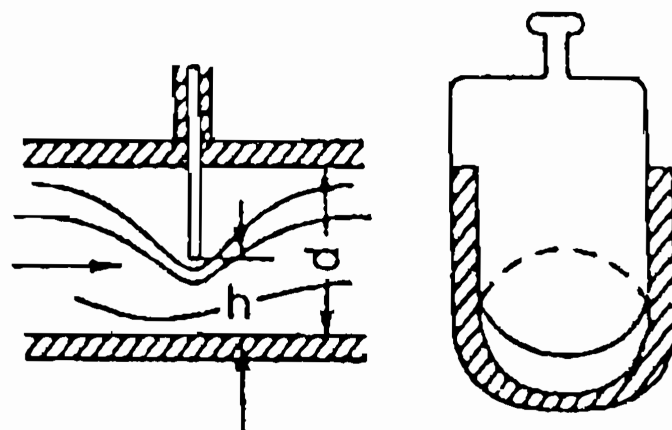
Bảng cho ζ khi góc ngoặt là 90^0 với các tỷ số $\frac{d}{2R}$ khác nhau.

$\frac{d}{2R}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ'	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98

7) Trị số hệ số tổn thất cục bộ ζ phụ thuộc theo độ mở khóa $\frac{d - h}{d}$ và

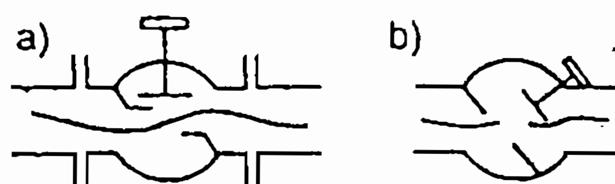
$\frac{\omega_c}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{\omega_c}{\omega}$ (H. PL1-6)

$\frac{d-h}{d}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{\omega_c}{\omega}$	1,0	0,948	0,856	0,74	0,609	0,466	0,315	0,159
ζ	0,00	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8



Hình PL1-6

8) Trị số ζ của van (H. PL1-7)

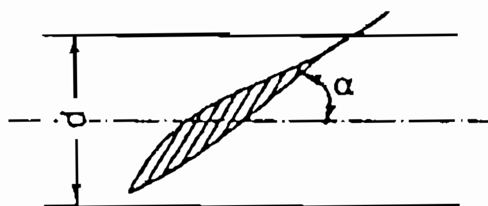


Hình PL1-7

a- van nhỏ, trục thẳng đứng, $\zeta = 3 \div 5,5$
b- van nhỏ, có trục nghiêng, $\zeta = 1,4 \div 1,85$

9) Trị số hệ số tổn thất cục bộ ζ của khóa hình đĩa phụ thuộc góc α (H. PL1-8).

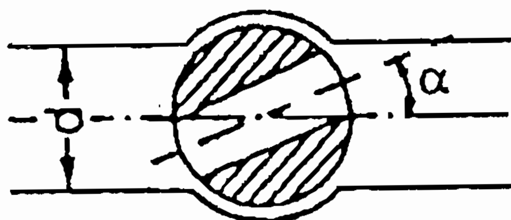
α	5^0	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0	
ζ	0,24	0,52	0,90	1,54	2,51	3,91	6,22	
α	40^0	45^0	50^0	55^0	60^0	65^0	70^0	90^0
ζ	1,08	18,7	32,6	58,8	118	256	751	∞



Hình PL1-8

10) Trị số hệ số tổn thất cục bộ của khóa phụ thuộc góc ngoặt α (H. PL 1-9).

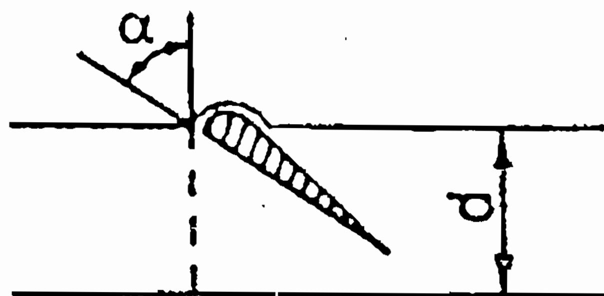
α	5^0	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0	40^0	45^0	50^0	55^0
ζ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	106



Hình PL1-9

11) Trị số hệ số tổn thất cục bộ ζ của khóa bản lề phụ thuộc góc ngoặt α (H. PL1-10)

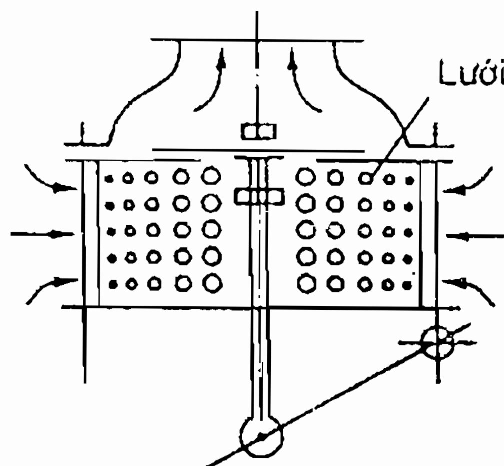
α	70^0	65^0	60^0	55^0	50^0	45^0	40^0	35^0	30^0	25^0	20^0	15^0
ζ	1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5	14	20	30	42	62	92



Hình PL1-10

12) Trị số hệ số ζ đối với van ống có lưới (H. PL1-11).

d = 40	70	100	150	200	300
ζ = 12	8,5	7	6	5,2	3,7



Hình PL1-11

13) Chạc ba hợp nhánh (H. PL1-12): $\omega_1 = \omega_2$. Hệ số tổn thất $\zeta_{2\text{-}3}$ và $\zeta'_{2\text{-}3}$ được tính theo tổn thất cột áp $h_{n_{2\text{-}3}}$ khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 2-2 đến mặt cắt 3-3:

$$\zeta_{2\text{-}3} = \frac{h_{n_{2\text{-}3}}}{\frac{v_3^2}{2g}} ; \qquad \zeta'_{2\text{-}3} = \frac{h_{n_{2\text{-}3}}}{\frac{v_2^2}{2g}} = \frac{\zeta_{2\text{-}3}}{\left(\frac{Q_2}{Q_3}\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)}$$

ở đây, $\zeta_{2\text{-}3}$ được cho sẵn trong bảng PL 1-1, phụ thuộc tỷ số ω_2/ω_3 và Q_2/Q_3

Bảng PL1-1: Giá trị hệ số tổn thất $\zeta_{2\text{-}3}$ đối với chạc ba hợp nhánh

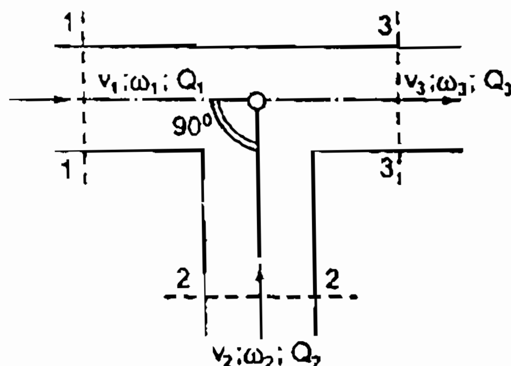
$\frac{\omega_2}{\omega_3}$	Q_2/Q_3									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,09	-0,50	2,97	9,90	19,70	32,40	48,80	66,50	86,90	110,00	136,00
0,19	-0,53	0,53	2,14	4,23	7,30	11,40	15,60	20,30	25,80	31,80
0,27	-0,69	0,00	1,11	2,18	3,76	5,90	8,38	11,30	14,60	18,40
0,35	-0,65	-0,09	0,59	1,31	2,24	3,52	5,20	7,28	9,23	12,20
0,44	-0,80	-0,27	0,26	0,84	1,59	2,66	4,00	5,73	7,40	9,12
0,55	-0,83	-0,48	0,00	0,53	1,15	1,89	2,92	4,00	5,36	6,60
1,00	-0,65	-0,40	-0,24	0,10	0,50	0,83	1,13	1,47	1,86	2,30

Hệ số tổn thất $\zeta_{1\text{-}3}$ và $\zeta'_{1\text{-}3}$ được tính theo tổn thất cột áp $h_{n_{1\text{-}3}}$ khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 3-3 (H.PL1-12).

$$\zeta_{1\text{-}3} = \frac{h_{n_{1\text{-}3}}}{\frac{v_3^2}{2g}} \quad ;$$

$$\zeta_{1\text{-}3} = \frac{h_{n_{1\text{-}3}}}{\frac{v_3^2}{2g}} = \frac{\zeta_{1\text{-}3}}{\left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2}$$

ở đây, $\zeta_{1\text{-}3}$ được cho sẵn trong bảng PL1-2, phụ thuộc tỷ số Q_1/Q_3.



Hình PL1-12

Bảng PL1-2: Giá trị hệ số tổn thất $\zeta_{1\text{-}3}$ đối với chạc ba hợp nhánh

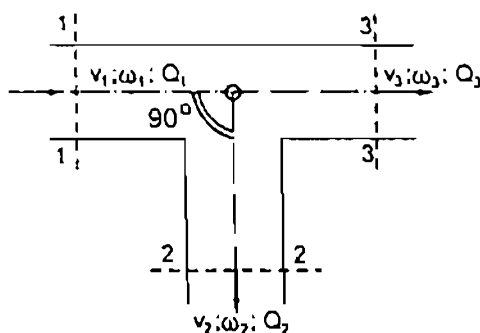
$\frac{Q_1}{Q_3}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_{1\text{-}3}$	0,70	0,64	0,60	0,65	0,75	0,85	0,92	0,96	0,99	1,00

14) Chạc ba phân nhánh (H. PL1-13); $\omega_1 = \omega_3$. Hệ số tổn thất $\zeta_{1\text{-}2}$ và $\zeta'_{1\text{-}2}$ được tính theo tổn thất cột áp $h_{n_{1\text{-}2}}$ khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2:

$$\zeta_{1\text{-}2} = \frac{h_{n_{1\text{-}2}}}{\dfrac{v_1^2}{2g}} \quad ; \quad \zeta'_{1\text{-}2} = \frac{h_{n_{1\text{-}2}}}{\dfrac{v_2^2}{2g}} = \frac{\zeta_{1\text{-}2}}{\left(\dfrac{Q_2}{Q_1}\dfrac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2}$$

ở đây, $\zeta_{n_{1\text{-}2}}$ được cho trong bảng PL1-3, phụ thuộc tỷ số $\dfrac{\omega_2}{\omega_1}$ và Q_2/Q_1 (các ký hiệu ghi trên hình vẽ).

Hệ số tổn thất $\zeta_{1\text{-}3}$ và $\zeta'_{1\text{-}3}$ được tính theo tổn thất cột áp $h_{n_{1\text{-}3}}$ khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 3-3 (H. PL1-13).



Hình PL1-13

Bảng PL1-3: Giá trị hệ số tổn thất $\zeta_{1\text{-}2}$ đối với chạc ba phân nhánh

ω_2/ω_1	Q_2/Q_1									
	0,1	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1,0**
0,09	2,80	4,50	6,00	7,88	9,40	11,10	13,00	15,80	20,00	24,70
0,19	1,41	2,00	2,50	3,20	3,97	4,95	6,50	8,45	10,80	13,30
0,27	1,37	1,81	2,30	2,83	3,40	4,07	4,80	6,00	7,18	8,90
0,35	1,10	1,54	1,90	2,35	2,73	3,22	3,80	4,32	5,28	6,53

0,44	1,22	1,45	1,67	1,89	2,11	2,38	2,58	3,04	3,84	4,75
0,55	1,09	1,20	1,40	1,59	1,65	1,77	1,94	2,20	2,68	3,30
1,00	0,90	1,00	1,13	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,06	2,30

$$\zeta_{1-3} = \frac{h_{n_{1-3}}}{\frac{v_1^2}{2g}} \quad ; \quad \zeta'_{1-3} = \frac{h_{n_{1-3}}}{\frac{v_3^2}{2g}} = \frac{\zeta_{1-3}}{\left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right)^2}$$

ở đây, ζ_{1-3} được cho sẵn trong bảng PL 1-4, phụ thuộc tỷ số Q_3/Q_1.

Bảng PL1- 4. Giá trị hệ số tổn thất ζ_{1-3} đối với chạc ba phân nhánh

$\frac{Q_3}{Q_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{1-3}	0,70	0,64	0,60	0,57	0,55	0,51	0,49	0,55	0,62	0,70*

* Chú ý: Trị số ζ_{1-3} này (khi $Q_1 = Q_3$) không phù hợp với trị số ζ_{1-3} trong bảng PL1-2 vì thí nghiệm không chính xác.

PHỤ LỤC 2

Trị số C tính theo công thức của N.N. Pavolôpski

$$C = \frac{1}{n} R^{y}$$

$$Y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75(\sqrt{n} - 0{,}10)\sqrt{R}$$

(dùng cho hệ mét)

R (m) \ n	0,011	0,013	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
0,01	50	3,8	24	19	12	8	6	5
0,02	54.4	42,4	26,8	21,2	14,14	10,6	7,78	6,36
0,03	57,1	45,0	30,0	23,1	16,16	12,12	9,24	6,93
0,04	59,5	47,0	32,0	25,0	17,5	13,0	10,0	8,0
0,05	61,3	48,7	33,2	26,1	18,6	13,9	10,9	8,7
0,06	62,8	50,1	34,4	27,2	19,5	14,7	11,5	9,3
0,07	64,1	51,3	35,5	28,2	20,4	15,5	12,2	9,9
0,08	65,2	52,4	36,4	29,0	21,1	16,1	12,8	10,3
0,10	67,2	54,3	38,1	30,6	22,4	17,3	13,8	11,2
0,12	68,8	55,8	39,5	32,6	23,5	18,3	14,7	12,1
0,14	70,3	57,2	40,7	33,0	24,5	19,1	15,4	12,3
0,16	71,5	58,4	41,8	34,0	25,4	19,9	16,1	13,4
0,18	72,6	59,5	42,7	34,8	26,2	20,6	16,8	14,0
0,20	73,7	60,4	43,6	35,7	26,9	21,3	17,4	14,5
0,22	74,6	61,3	44,4	36,4	27,6	21,9	17,9	15,0
0,24	75,5	62,1	45,2	37,1	28,3	22,5	18,5	15,5
0,26	76,3	62,9	45,9	37,8	28,8	23,0	18,9	16,0

0,28	77,0	63,6	46,5	38,4	29,4	23,5	19,4	16,4
0,30	77,7	64,8	47,2	39,0	29,9	24,0	19,9	16,8
0,35	79,3	65,8	48,6	40.3	31,1	25,1	20,9	17,8
0,40	80,7	67,1	49,8	41,5	32,2	26,0	21,8	18,6
0,45	82,0	68,4	50,9	42,5	33,1	26,9	22,6	19,4
0,50	83,1	69,5	51,9	43,4	34,0	27,8	23,4	20,1
0,55	84,1	70,4	52,8	44,4	34,8	28,5	24,0	20,7
0,60	85,3	71,4	53,7	45,2	35,5	29,2	24,7	21,3
0,70	86,8	73,0	55,2	46,6	36,9	30,4	25,8	22,4
0,80	88,3	74,5	56,5	47,9	38,0	31,5	26,8	23,4
0,90	89,4	75,5	57,5	48,8	38,9	32,3	27,6	24,1
1,00	90,9	76,9	58,8	50,0	40,0	33,3	28,6	25.0
1,50	95,7	81,5	62,9	53,9	43,6	36,7	31,7	28,0
2,00	99,3	84,8	65,9	56,6	46;0	38,9	33,8	30,0
3,00	104,4	89,4	69,8	60,3	49,3	41,9	36,1	32,5
4,00	108,1	92,6	72,5	62,5	51,2	43,6	38,1	33,9

PHỤ LỤC 3

Trị số hệ C theo công thức Manning

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

n / R, (m)	0,010	0,013	0,014	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
0,05	60,7	46,7	43,4	35,70	30,40	24,3	20,2	17,3	15,2
0,06	62,6	48,1	44,7	36,8	31,3	25,0	20,9	17,9	15,6
0,07	64,2	49,4	45,9	37,8	32,1	25,7	21,4	18,3	16,0
0,08	65,6	50,5	46,9	38,6	32,8	26,3	21,9	18,8	16,4
0,10	68,1	52,4	48,7	40,1	34,1	27,3	22,7	19,5	17,0
0,12	70,2	54,0	50,2	41,3	35,1	28,1	23,4	20,1	17,6
0,14	72,1	55,4	51,5	42,4	36,0	28,8	24,0	20,6	18,0
0,16	73,7	56,7	52,6	45,3	36,8	29,5	24,5	21,1	18,4
0,18	75,1	57,8	53,7	44,2	37,6	30,1	25,0	21,5	18,8
0,20	76,5	58,8	54,6	45,0	33,2	30,6	25,5	21,8	19,1
0,22	77,7	59,8	55,5	45,7	38,8	31,1	25,9	22,2	19,4
0,24	78,8	60,6	56,3	46,4	39,4	31,5	26,3	22,5	19,7
0,26	79,9	61,5	57,1	47,0	39,9	32,0	26,6	22,8	20,0
0,28	80,9	62,2	57,8	47,6	40,4	32,4	27,0	23,1	20,2
0,30	81,8	63,0	58,4	48,1	40,9	32,7	27,3	23,4	20,4
0,35	83,9	64,6	59,9	49,4	42,0	33,6	28,0	24,0	21,0
0,40	85,8	66,0	61,3	50,5	42,9	34,3	28,6	24,5	21,4
0,45	87,5	67,3	62,5	51,5	43,8	35,0	29,2	25,0	21,9

0,50	89,1	68,5	63,6	52,4	44,5	35,6	29,7	25,5	22,3
0,55	90,5	69,6	64,6	53,3	45,3	36,2	30,2	25,9	22,6
0,60	91,8	70,6	65,6	54,0	45,9	36,7	30,6	26,2	23,0
0,65	93,1	71,6	66,5	54,7	46,5	37,2	31,0	26,6	23,3
0,70	94,2	72,5	67,3	55,4	47,1	37,7	31,4	26,9	23,6
0,80	96,4	74,1	68,8	56,8	48,2	38,5	32,1	27,5	24,1
0,90	98,3	75,6	70,2	57,8	49,1	39,3	32,8	28,1	24,6
0,00	100,0	77,0	71,4	58,8	50,0	40,0	33,3	28,6	25,0
0,10	101,0	78,2	72,6	9,8	50,8	40,6	33,9	29,0	25,4
1,20	103,1	79,3	73,6	60,6	51,5	41,2	34,4	29,5	25,8
1,30	104,5	80,4	74,6	61,5	52,2	41,8	34,8	29,8	26,1
1,50	107,0	82,3	76,4	62,9	53,5	42,8	35,7	30,6	26,8
1,70	109,3	84,1	78,0	64,3	54,6	43,7	36,4	31,2	27,3
2,00	112,3	86,3	80,2	66,0	56,1	44,9	37,4	32,1	28,1
2,50	116,5	89,6	83,2	68,5	58,3	46,6	38,8	33,3	29,1
3,00	120,1	92,4	85,8	70,6	60,0	48,0	40,0	34,3	30,0
3,50	123,2	94,8	88,0	72,5	61,6	49,3	41,1	35,2	30,3
4,00	126,0	97,0	90,0	74,1	63,0	50,4	42,0	36,9	31,5
5,00	130,8	100,0	93,4	76,9	65,4	52,3	43,6	37,4	32,7
10,00	146,8	112,9	104,8	86,3	73,4	58,7	49,0	41,9	-

PHỤ LỤC 4

Hệ số λ đối với ống tròn phụ thuộc đường kính d và hệ số nhám n khi C tính theo công thức của Viện sĩ N. N . Pavolôpski

d (mm)	Hệ số nhám n				
	0,011	**0,012**	**0,013**	**0,014**	**0,015**
200	0,021	0,026	0,033	0,039	0,050
300	0,019	0,024	0,029	0,035	0,044
400	0,017	0,022	0,026	0,033	0,039
500	0,016	0,020	0,025	0,030	0,036
600	0,016	0,019	0,024	0,028	0,034
700	0,015	0,019	0,023	0,027	0,032
800	0,015	0,018	0,022	0,026	0,031
900	0,014	0,017	0,021	0,025	0,029
1.000	0,013	0,017	0,020	0.023	0,028
1.200	0.013	0,016	0,019	0,022	0,026
1.500	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025
2.000	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022
2.500	0,011	0,013	0,015	0,018	0,021
3.000	0,010	0,012	0,014	0,017	0,020

PHỤ LỤC 5

Trị số đặc trưng lưu lượng K = ω C √R của các ống dẫn nước có tiết diện tròn khi tính theo công thức đầy đủ của N.N. Pavo lôpski

$$C = \frac{1}{R} R^y;\ y = f(n, R) \qquad \text{(dùng cho hệ mét)}$$

Đường kính d (m)	Diện tích ω (m^2)	Trị số đặc trưng lưu lượng K (m^3/s) với các trị số hệ số nhám n khác nhau			
		0,011	0,020	0,030	0,040
1,0	0,7854	29,806	14,707	8,934	6,185
1,5	1,7672	86,664	44,307	27,638	19,716
2,0	3,1416	184,573	96,618	61,747	44,644
2,5	4,9087	328,123	174,196	112,663	82,338
3,0	7,0690	535,31	288,90	188,636	140,02
3,5	9,6210	801,70	436,92	288,762	215,18
4,0	12,566	1140,00	628,32	418,67	314,16
5,0	19,635	2049,87	1142,71	707,21	582,86
6,0	28,274	3311,98	1865,37	1270,16	969,02
7,0	38,484	4961,79	2813,88	1926,71	1479,88
8,0	50,266	7052,81	4025,73	2766,80	2133,78
9,0	63,617	9609,39	5501,31	3795,18	2935,30
10,0	78,540	12702,26	7032,86	5051,05	3918,91
12,0	113,097	20427,94	11798,90	8198,57	6359,27
14,0	153,938	30628,30	17703,39	12320,40	9585,74
16,0	201,062	43469,17	25132,50	17532,43	13632,00

PHỤ LỤC 6

Bảng tính các ống dẫn nước. Trị số đặc trưng lưu lượng $K = \omega C\sqrt{R}$ của các ống dẫn nước khi C tính theo công thức của Manning

$$C = \frac{1}{n}R^{1/6}$$ (Dùng cho hệ thống mét)

d, (mm)	ω, (m^2)	K, (1/s)		
		Ống sạch $C_0 = \frac{1}{n} = 90$ ($n \approx 0.01$)	Các điều kiện tính toán bình thường $C_0 = \frac{1}{n} = 80$ ($n \approx 0,0125$)	Ống bẩn $C_0 = \frac{1}{n} = 90$ ($n \approx 0,0143$)
50	0,00196	9,624	8,460	7,403
75	0,00442	28,37	24,94	21,83
100	0,00785	61,11	53,72	47,01
125	0,01227	110,80	97,40	85,23
150	0,01767	180,20	158,40	138,60
175	0,02405	271,80	238,90	209,00
200	0,03142	388,00	341,10	298,50
225	0,03976	531,20	467,00	408,60
250	0,04909	703,50	418,50	541,20
300	0,07068	$1,144.10^3$	$1,006.10^3$	880,00
350	0,09621	$1,726.10^3$	$1,517.10^3$	$1,327.10^3$
400	0,12566	$2,464.10^3$	$2,166.10^3$	$1,895.10^3$
450	0,15904	$3,373.10^3$	$2,965.10^3$	$2,594.10^3$
500	0,19635	$4,467.10^3$	$3,927.10^3$	$3,436.10^3$

600	0,28274	$7,264.10^3$	$6,386.10^3$	$5,587.10^3$
700	0,38435	$10,96.10^3$	$9,632.10^3$	$8,428.10^3$
750	0,44179	$13,17.10^3$	$11,580.10^3$	$10,13.10^3$
800	0,50266	$15,64.10^3$	$13,75.10^3$	$12,03.10^3$
900	0,63617	$21,42.10^3$	$13,83.10^3$	$16,47.10^3$
1.000	0,78540	$28,36.10^3$	$24,93.10^3$	$21,82.10^3$
1.200	1,13090	$46,12.10^3$	$40,55.10^3$	$35,48.10^3$
1.400	1,5394	$69,57.10^3$	$61,16.10^3$	$53,52.10^3$
1.400	2,0106	$93,33.10^3$	$87,32.10^3$	$76,41.10^3$
1.800	2,5447	$136,00.10^3$	$119,50.10^3$	$104,6.10^3$
2.000	3,1416	$180,10.10^3$	$158,30.10^3$	$138,5.10^3$

PHỤ LỤC 7

Bảng tra hệ số nhám n và độ nhám tuyệt đối Δ của ống kênh

Thứ tự	Đặc điểm của lòng dẫn	Giá trị độ nhám tuyệt đối Δ (m)	Hệ số nhám $N = \frac{\Delta^{0,2}}{19,6}$
1a	Những bề mặt rất nhẵn (mặt bằng kim loại, mặt kính, có tráng men, ván ghép cẩn thận và bào nhẵn, mặt trát xi măng, trát cẩn thận).	0,0005	0,011
1b	Mặt trơn nhẵn bằng kim loại đen, có quét nhựa đường và mặt nhẵn bằng gỗ ván bào nhẵn (có tráng nhựa hoặc không). Mặt trát xi măng rất nhẵn.	0,0005 0,001	0,011 0,013
2	Mặt kim loại đen trong điều kiện bình thường ít chất bẩn bám vào. Máng gỗ đã bào đặt ngang. Trát xi măng không cốt thép. Tấm đá lát. Lát gạch tốt hoặc tốt vừa.	0,0010 0,002	0,013 0,015
3	Máng làm bằng ván chưa bào, máng gỗ cũ và ống có ghét bẩn. Máng bê tông có miết hoặc không, mặt không nhẵn, hỏng, chữa nhiều. Đổ bê tông, xây gạch không kỹ.	0,002 0,005	0,0015 0,018
4	Kênh đều đặn hoàn thành tốt bằng đất sét, đất á sét hoặc đất khác trong điều kiện giữ gìn tốt, trên mặt phủ bằng lớp bùn lèn chặt bằng phẳng. Lòng sông bằng phẳng dưới đáy có cát. Lòng dẫn nhám bằng bê tông (phun xi măng, những mặt trát cũ đã bị hủy hoại nghiêm trọng). Xây đá hộc lớn rất cẩn thận. Xây bằng gạch đã cũ (đã bị vụn). Mặt bằng đá đã được gia công tốt.	0,005 0,010	0,018 0,020

5	Lòng dẫn bằng đất thi công cẩn thận, những vực sâu có cát và bùn nhưng dưới đáy không gồ ghề rõ rệt. Lòng dẫn bằng đá gan trâu và sỏi, đường kính của hòn nhỏ hơn 50mm không miết, lòng dẫn bằng bê tông có mặt ngoài nháp, xây bằng đá hộc không cẩn thận. Mặt xây lát làm cẩn thận, kênh đào trong đá thi công cẩn thận.	0,010 0,020	0,020 0,023
6	Lòng dẫn bằng đá gan trâu. Lòng dẫn bằng sỏi và đất ở dưới đáy có đá cuội tròn. Đất đã khai khẩn và đánh thành luống. Kênh bằng đá mặt ngoài đã gia công đơn giản. Mặt xây lát rất cẩn thận.	0,020 0,040	0,023 0,027
7	Lòng dẫn có sỏi hoặc đá gan trâu trong điều kiện xấu. Lòng dẫn có đá cuội tròn. Lòng dẫn bằng đất đá đã bị xói không đều đặn. Mặt xây lát đã cũ, đã bị hỏng. Mặt lát bằng đá dăm có góc nhọn (mặt lát thô).	0,040 0,080	0,027 0,031

PHỤ LỤC 8

Momen quán tính J_0 (đối với trục nằm ngang đi qua trọng tâm C). Tọa độ trọng tâm z_c và diện tích ω của những hình phẳng

Hình và ký hiệu	J_0	z_c	ω
a, b, z_0, z_c, C	$\frac{ba^3}{12}$	$z_0 + \frac{a}{2}$	ba
a, b, z_0, z_c, C	$\frac{ba^3}{36}$	$z_0 + \frac{2}{3}a$	$\frac{ba}{2}$
a, B, b, z_0, z_c, C	$\frac{a^3(B^2 + 4Bb + b^2)}{36(B + b)}$	$z_0 + \frac{a(B + 2b)}{3(B + b)}$	$\frac{a(B + b)}{2}$

z_0, z_c, d, C	$\frac{\pi d^4}{64}$	$z_0 + \frac{d}{2}$	$\frac{\pi d^4}{4}$
z_0, z_c, C	$\frac{9\pi^2 - 64}{72\pi} r^4$	$z_0 + \frac{4r}{3\pi}$	$\frac{\pi r^2}{2}$
z_0, z_c, R, C	$\frac{\pi(R^4 + r^4)}{4}$	$z_0 + R$	$\pi(R^2 + r^2)$
z_0, z_c, 2a, C, 2B	$\frac{\pi a^3 b}{4}$	$z_0 + a$	πab

PHỤ LỤC 9

Bảng toạ độ đường cong mặt đập không có chân không vẽ theo phương pháp Cơrigiơ – Ôphixerôp

$\bar{x} = \frac{x}{H_{tk}}$	$\bar{y} = \frac{y}{H_{tk}}$	
	Đập loại I (kiểu Cơrigiơ – Ôphixerôp)	**Đập loại II kiểu Cơrigiơ**
0		
0,1	0,126	0,043
0,2	0,036	0,010
0,3	0,007	0,000
0,4	0,000	0,005
0,6	0,060	0,023
0,8	0,147	0,098
1,0	0,256	0,189
1,2	0,393	0,321
1,4	0,565	0,420
1,7	0,873	0,665
2,0	1,235	0,992
2,5	1,960	1,377
3,0	2,824	1,14
3,5	3,828	3,06
4,0	4,930	4,08
4,5	6,22	5,24
		6,58

PHỤ LỤC 10

Bảng trị số bán kính nối tiếp R ở chân đập (*)

P(m) \ H(m) R(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	3,0	4,2	5,4	6,5	7,5	8,5	9,5	10,6	11,6
20	4,0	6,0	7,8	8,9	10,0	11,0	12,5	13,3	14,3
30	4,5	7,5	9,7	11,0	12,4	13,5	14,7	15,8	16,8
40	4,7	8,4	11,0	13,0	14,5	15,8	17,0	18,0	19,0
50	4,8	8,8	12,0	14,5	16,5	18,0	19,2	20,3	21,3
60	4,9	8,9	13,0	15,5	18,0	20,0	21,0	22,2	23,2

Khi P < 10m, lấy R = 0,5P

PHỤ LỤC 11

Hệ số sửa chữa hình dạng σ_{hd}

α^0	β^0	e/P_1				
		0	0,3	0,6	0,9	1,0
15	15	0,880	0,878	0,855	0,850	0,933
	30	0,910	0,908	0,885	0,880	0,974
	60	0,927	0,925	0,902	0,895	1,000
45	15	0,915	0,915	0,911	0,919	0,933
	30	0,953	0,950	0,950	0,956	0,974
	60	0,974	0,974	0,970	0,978	1,000
75	15	0,930	0,930	0,930	0,930	0,939
	30	0,972	0,972	0,972	0,972	0,974
	60	0,998	0,998	0,998	0,999	1,000
90	15	0,933	-	-	-	-
	30	0,974	-	-	-	-
	60	1,000	-	-	-	-

PHỤ LỤC 12

Hệ số lưu lượng của đập thực dụng mặt cắt hình thang

Độ cao tương đối của đập	Độ dốc mái		Hệ số lưu lượng m		
	S thượng lưu	S' hạ lưu	H/δ > 2	1 < H/δ < 2	0,5 < H/δ < 1
3 ÷5	0,5	0,5	0,42 ÷ 0,43	0,38 ÷0,40	0,35 ÷0,36
2 ÷3	1	0	0,44	0,42	0,40
	2	0	0,43	0,41	0,39
	0	1	0,42	0,40	0,38
	0	2	0,40	0,38	0,36
1 ÷ 2	3	0	0,42	0,40	0,38
	4	0	0,41	0,39	0,37
	5	0	0,40	0,38	0,36
	10	0	0,38	0,36	0,35
	0	3	0,39	0,37	0,35
	0	5	0,37	0,35	0,34
	0	10	0,35	0,34	0,33

PHỤ LỤC 13

Tính toán nối tiếp ở hạ lưu công trình

$F(\tau_c)$	τ_c	τ'_c				
		$\varphi = 0,80$	$\varphi = 0,85$	$\varphi = 0,90$	$\varphi = 0,95$	$\varphi = 1,0$
0,01	0,0023	0,074	0,079	0,084	0,088	0,093
02	0045	105	112	118	125	132
03	0068	128	136	145	153	161
04	0090	147	157	166	176	185
05	0113	165	175	186	196	207
0,06	0,0134	0,179	0,190	0,202	0,213	0,225
07	0156	193	205	217	230	242
08	0178	205	218	232	245	258
09	0221	217	231	245	259	273
10	0228	227	242	257	272	288
0,12	0,0274	0,248	0,265	0,281	0,297	0,314
14	0320	266	284	301	319	336
16	0370	283	302	321	340	358
18	0418	299	319	339	357	378
20	0462	316	336	356	377	397
0,22	0,0510	0,324	0,347	0,370	0,392	0,415
24	0556	341	363	386	407	431
26	0596	352	376	400	424	448
28	0652	364	389	414	438	463
30	0701	375	401	426	452	477
0,35	0,0825	0,401	0,428	0,456	0,483	0,415
40	0950	424	453	472	501	540
45	107	445	476	506	537	568

50	120	464	491	518	545	573
0,55	0,134	0,481	0,515	0,549	0,583	0,617
60	147	497	532	567	602	638
65	160	512	548	585	621	658
70	174	526	563	601	638	676
75	188	538	577	615	654	693
0,80	0,202	0,549	0,589	0,629	0,668	0,708
85	217	560	600	641	682	723
90	232	569	611	653	695	736
95	247	570	621	664	707	750
1,00	263	585	629	672	716	759
1,05	0,279	0,591	0,636	0,680	0,724	0,768
10	296	396	641	686	732	777
15	313	602	647	693	738	784
20	330	606	652	698	744	790
25	350	608	655	701	748	795
1,30	0,370	0,609	0,656	0,704	0,751	0,798
35	319	610	657	704	752	800
40	412	608	656	704	752	800
45	436	605	653	701	749	797
50	461	605	648	696	744	793
1,55	0,490	0,592	0,640	0,688	0,736	0,785
60	523	579	627	675	723	771
63	546	569	616	664	711	759
66	574	553	601	648	696	742

PHỤ LỤC 14

Bảng trị số co hẹp thẳng đứng ε và tính nối tiếp sau cửa cống với tấm chắn phẳng

$\frac{a}{H}$	ε	$F(\tau_c)$	$t_c = \varepsilon \cdot \frac{a}{H}$	τ'_x			
				$\varphi = 0,85$	$\varphi = 0,90$	$\varphi = 0,95$	$\varphi = 1,00$
0,00	0.611	-	-	-	-	-	-
0,10	0,615	0,264	0,062	0,378	0,403	0,427	0,451
0,15	0,618	0,388	0,092	0,445	0,474	0,503	0,531
0,20	0,620	0,514	0,124	0.501	0,534	0,567	0,600
0,25	0,622	0,633	0,156	0,543	0,580	0,616	0,652
0,30	0.625	0,750	0,188	0,576	0,615	0,654	0,603
0,35	0.628	0,865	0,220	0,603	0,644	0,685	0,726
0,40	0,630	0,967	0.252	0,623	0,666	0,708	0,754
0,45	0,638	1,060	0,284	0,638	0,682	0,726	0,771
0,50	0,645	1,182	0,323	0.650	0,696	0,741	0,788
0,55	0,650	1,265	0,356	0,655	0,702	0,749	0,795
0,60	0.660	1,364	0,395	0,657	0,706	0,752	0,800
0,65	0,675	1,457	0,440	0.652	0,700	0,748	0,797
0,70	0,690	1,538	0,482	0,642	0,690	0,738	0,787
0,75	0.705	1,611	0,529	0,624	0,672	0,720	0,768

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ***Thủy lực và máy thủy lực;*** tập I, II Nguyễn Phước. Hoàng, Phạm Đức Nhuận...; Nxb Đại học và THCN, Hà nội - 1979.
2. ***Thủy lực và cấp thoát nước trong nông nghiệp,*** Hoàng Đức Liên, Nguyễn Thanh Nam; Nxb Giáo dục, Hà Nội - 2001.
3. ***Thủy lực, tập I,-II,*** Nguyễn Tài; Nxb Xây dựng, Hà Nội , 1998.
4. ***Thủy lực đại cương, Tóm tắt lý thuyết, Bài tập, Số liệu tra cứu,*** Nguyễn Tài, Tạ Ngọc Cầu; Nxb Xây dựng, Hà Nội, 1999.
5. Loixianxki L.G., Mechanica Jidcoxti i Gaza, M., Nauka - 1987.
6. Frank M. White; Fluid Mechanics, McGraw-Hill, Inc., New York 2000.

MỤC LỤC

NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI
4 - TỐNG DUY TÂN, QUẬN HOÀN KIẾM, HÀ NỘI
ĐT: (04) 8252916 - FAX: (04) 9289143

GIÁO TRÌNH

THỦY LỰC

NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI - 2007

Chịu trách nhiệm xuất bản
NGUYỄN KHẮC OÁNH
Biên tập
PHẠM QUỐC TUẤN
Bìa
TRẦN QUANG
Kỹ thuật vi tính
PHẠM BẰNG VIỆT
Sửa bản in
PHẠM QUỐC TUẤN
LÊ XUÂN THỌ

In 400 cuốn, khổ 17x24cm, tại Nhà in Hà Nội - Công ty Sách Hà Nội. 67 Phó Đức Chính - Ba Đình - Hà Nội. Quyết định xuất bản: 160-2007/CXB/393GT-27/HN, số 313/CXB ngày 02/3/2007. Số in: 350/2. In xong và nộp lưu chiểu quý III năm 2007.

BỘ GIÁO TRÌNH XUẤT BẢN NĂM 2007
KHỐI TRƯỜNG TRUNG HỌC NÔNG NGHIỆP

1. THỦY LỰC
2. GIỐNG VÀ KỸ THUẬT TRUYỀN
3. KHÍ TƯỢNG NÔNG NGHIỆP
4. ĐỊNH GIÁ ĐẤT
5. GIAO ĐẤT VÀ THU HỒI ĐẤT
6. BẢN ĐỒ ĐỊA CHÍNH
7. KẾT CẤU CHUYÊN NGÀNH THỦY NÔNG
8. CHẨN ĐOÁN BỆNH VÀ BỆNH NỘI KHOA
9. CHĂN NUÔI GIA CẦM
10. NGOẠI KHOA THÚ Y
11. VI SINH VẬT - BỆNH TRUYỀN NHIỄM VẬT NUÔI
12. QUY HOẠCH SỬ DỤNG ĐẤT
13. PHÁP LUẬT ĐẤT ĐAI
14. THANH TRA VÀ KIỂM TRA ĐẤT ĐAI
15. KỸ THUẬT TRỒNG LÚA
16. KỸ THUẬT TRỒNG CÂY MÀU
17. MÁY BƠM VÀ TRẠM BƠM
18. THỦY NÔNG
19. QUẢN TRỊ NHÂN LỰC TRONG DOANH NGHIỆP
20. KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG THỰC PHẨM
21. CÔNG NGHỆ BẢO QUẢN VÀ CHẾ BIẾN LƯƠNG THỰC
22. CÔNG NGHỆ CHẾ BIẾN VÀ BẢO QUẢN RAU QUẢ
23. CÔNG NGHỆ BẢO QUẢN VÀ CHẾ BIẾN SẢN PHẨM CHĂN NUÔI
24. CÔNG NGHỆ SẢN XUẤT BIA
25. AN TOÀN VÀ BẢO HỘ LAO ĐỘNG

gt thuỷ lực

2810080000088
30,000



Giá:30.000đ